



TUGAS AKHIR -TE 091599

**PEREDAMAN RESONANSI HARMONISA PADA SISTEM
KELISTRIKAN INDUSTRI MENGGUNAKAN FILTER *HYBRID*
DENGAN KONDUKTANSI VARIABLE**

Adi Sjaferial
NRP 2213 106 054

Dosen Pembimbing
1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
2. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT-TE 091599

***HARMONIC RESONANCE DAMPING SYSTEM ON
ELECTRICAL INDUSTRY USING HYBRID FILTER WITH
VARIABLE CONDUCTANCE***

Adi Sjaferial
NRP 2213 106 054

Advisor

1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
2. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini penulis menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas akhir penulis dengan judul “**Peredaman Resonansi Harmonisa Pada Sistem Kelistrikan Industri Menggunakan Filter Hybrid Dengan Konduktansi Variable**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang penulis akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, penulis bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 17 Desember 2016

Adi Sjaferial
NRP. 2213 106 054

Halaman ini sengaja dikosongkan

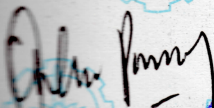
**PEREDAMAN RESONANSI HARMONISA PADA SISTEM
KELISTRIKAN INDUSTRI MENGGUNAKAN FILTER
HYBRID DENGAN KONDUKTANSI VARIABLE**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1

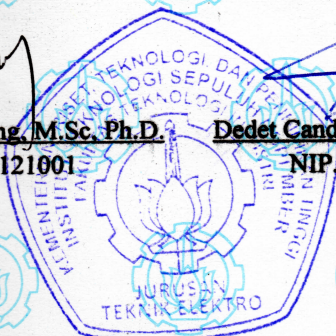


Dosen Pembimbing 2

18-01-17

Prof. Dr. Sutopo Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19497151974121001

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001



**SURABAYA
JANUARI, 2017**

PEREDAMAN RESONANSI HARMONISA PADA SISTEM KELISTRIKAN INDUSTRY MENGGUNAKAN FILTER *HYBRID* DENGAN KONDUKTANSI VARIABLE

Adi Sjaferial
2213106054

ABSTRAK

Harmonisa dalam suatu sistem kelistrikan industri dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Adanya harmonisa pada sistem tenaga listrik salah satunya disebabkan oleh peralatan elektronik semi konduktor yang mempunyai impedansi tidak linier. Pada tugas akhir ini dilakukan peredaman resonansi harmonisa pada sistem kelistrikan industri menggunakan *filter hybrid* dengan konduktansi *variable*.

Pada tugas akhir disimulasikan filter *hybrid* yang terdiri dari pasif filter dan aktif filter yang dirangkai seri. Filter aktif berfungsi untuk mengisolasi aliran harmonisa dari beban menuju sumber, sedangkan filter pasif berfungsi untuk mengeliminasi harmonisa pada orde rendah. Saat *hybrid* filter unit di aktikan pada sistem kelistrikan industri maka presentasi nilai THD tetap terjaga $<5\%$. Saat beban atau THD *command* berubah, maka Filter *hybrid* membutuhkan nilai konduktansi *gain variable* yang sesuai dengan perubahan beban [12].

Kata kunci : Aktif Filter, Beban Berubah, Filter hybrid, Harmonisa,

Halaman ini sengaja dikosongkan

HARMONIC RESONANCE DAMPING SYSTEM ON ELECTRICAL INDUSTRY USING HYBRID FILTER WITH VARIABLE CONDUCTANCE

Adi Sjaferial
2213106054

ABSTRACT

Harmonics in an industrial electrical systems can cause damage to electrical equipment. One of the cause of the harmonics in the power system is semiconductor electronic equipment that has a non-linear impedance. In this final project, harmonic resonance in industrial electrical systems is damped using hybrid filter with variable conductance.

In this final project simulated hybrid filter consisting of passive filters and active filters which are strung together series. Active filter serves to isolate the flow of the harmonics of the load to the source, while the passive filter serves to eliminate low order harmonics on. When hybrid filter unit in Enable in industrial electrical systems, the presentation of the value of THD is maintained $<5\%$. When the load or command THD change, then the hybrid filter requires a gain variable conductance value corresponding to the load change[12].

Keywords : Active Filter, Filter hybrid, Harmonics, Non liniear load

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas akhir dengan judul :

PEREDAMAN RESONANSI HARMONISA PADA SISTEM KELISTRIKAN INDUSTRY MENGGUNAKAN FILTER *HYBRID* DENGAN KONDUKTANSI VARIABLE

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar Tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Dalam penyelesaian Tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah subhanahu wa ta'alla.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Agus Hariyono dan Ibu Dewi Sihpenarih dan adik penulis Alfian Hariyono dan keluarga besar Idris dan Hardjowijoto, Bebek Neneng, Bude Tok, Mbah Yik, Pakde dan bude Cip, Tante aneth, Habib Farid Jakarta yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, nasehat dan doanya selama pengerjaan dan Sidang Tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I Tugas akhir serta Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II Tugas akhir yang telah memberikan arahan, saran, motivasi , solusi serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Bapak Dr. Eng Ardyono Priyadi S.T. M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro – ITS.

5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS, yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan dari D3 hingga bangun kuliah dan teman pasukan malam MOSWA yaitu Moch. Ardi Ars, I Nyoman R, Dimas A dan Sigit W yang selalu memberikan nasihat-nasihatnya tentang kebenaran sehingga menginspirasi untuk menyelesaikan Tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan TA yaitu Rasyid, Bahtiar, Ghofur, Nyoman, Danar, Fitrah, Rizqi dan Roby yang turut membantu penulis dalam pengerjaan TA dan selalu memberikan motivasi, keceriaan dan semangat yang sangat besar bagi penulis.
8. Kakak-kakak S3, S2, seperjuangan TA dan teman-teman lab KE B-102 yaitu P. Anton, P. Faanzir, Echa, M. Jauhari, Rahmat, Fahmi, Reza H, Rury, Fatah Teman-Teman LJ W 115 yang tak henti-hentinya menjawab diskusi tentang kesulitan mengerjakan tugas akhir dan selalu memberikan lelucon yang memicu tawa disaat penulis jenuh dalam menyusun Tugas akhir.
9. Teman-Teman lab PSOC yaitu mas Alif, Jabbar, dan Irfan sebagai tempat persinggahan apabila lab B102 KE sepi dan teman diskusi tentang tugas akhir, lab PSSSL yaitu Deny dan lab. control Mas Hadi sempat menjadi tempat tanya tentang kebingungan matlab sang penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam menyusun Tugas akhir ini penulis telah berusaha untuk dapat menghasilkan karya terbaik, namun penulis merasa bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan banyak pengembangan yang mungkin masih bisa dilakukan, oleh karena itu penulis masih membuka diri untuk menertima kritik dan saran dari para pembaca sekalian guna pengembangan yang lebih baik.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

.....	Erro
r! Bookmark not defined.	

PERNYATAAN KEASLIAN

.....	Erro
r! Bookmark not defined.	

TUGAS AKHIR

.....	Erro
r! Bookmark not defined.	

LEMBAR PENGESAHAN

.....	Erro
r! Bookmark not defined.	

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan Tugas Akhir	2
1.4. Ruang Lingkup.....	2
1.5. Batasan Masalah	2
1.6. Metodologi.....	2
1.7. Sistematika Penulisan	3
1.8. Relevansi	4

BAB 2

Harmonisa di Power sistem

2.1. Beban.....	9
2.1.1 Beban Linier	10
2.1.2 Beban Tidak Linear	10
2.2. Standar Harmonisa(IEEE)	13
2.3. Jenis Filter.....	13
2.3.1. Filter Pasif	14

2.3.2. Filter Aktif	18
2.3.3. <i>Hybrid</i> Filter (pasif dan aktif).....	19
2.4. HAFU (Hybrid Active Filter Unit) beban VSI	19
2.4.1. Prinsip Kerja VSI.....	19
2.4.2. Average Model Switching	21

BAB 3

REDUKSI HARMONIK MENGGUNAKAN Var KONTROL HYBRID ACTIVE FILTER UNIT (HAFU)

3.1. Diagram blok system.....	23
3.2. Desain filter	24
3.2.1. Pemodelan Beban Sumber	25
3.2.2. Pemodelan Filter pasif	26
3.3. Desain Harmonic Loop	38
3.4. Desain Fundamental Loop.....	39
3.5. Desain Konduktansi Kontrol Blok Diagram	40

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1. Parameter Simulasi.....	43
4.2. Simulasi Menggunakan Filter Pasif	44
4.3.1. Simulasi Menggunakan Filter Pasif Dengan Menggunakan Beban Konstan.....	44
4.3.2. Simulasi Menggunakan Filter Pasif Dengan Menggunakan Beban Berubah	47
4.3. Simulasi Dengan Hybrid Active Filter Unit (Filter Pasif dan Filter Aktif)	51
4.3.1. Simulasi Menggunakan Filter <i>Hybrid</i> Active Filter Unit (<i>HAFU</i>) Dengan Menggunakan Beban Konstan Dengan THD <i>Command</i> Konstan.....	52
4.3.2. Simulasi Menggunakan Filter <i>Hybrid</i> Active Filter Dengan Menggunakan Beban Konstan Dengan THD <i>Command</i> Berubah	56
4.3.3. Simulasi Menggunakan Filter <i>Hybrid</i> Active Unit (<i>HAFU</i>) filter dengan menggunakan Beban Berubah Dengan THD <i>Command</i> Konstan.....	61
4.3.4. Simulasi Menggunakan Filter <i>Hybrid</i> Active filter Dengan Menggunakan Beban Berubah Dengan THD <i>Command</i> Berubah	65

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	73

DAFTAR PUSTAKA

RIWAYAT PENULIS.....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gelombang Sinus Arus dan Tegangan	6
Gambar 2.2	Gelombang Fundamental ($f_1 \sin \omega t$)	6
Gambar 2.3	Gelombang Harmonisa ke 3 ($f_3 \sin \omega t$)	6
Gambar 2.4	Gelombang Fundamental, Harmonic Ke 3 dan Hasil Penjumlahannya ($f_1 + f_3$)	7
Gambar 2.5	Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Dengan Beban Linear	10
Gambar 2.6	Jenis-Jenis Beban Tidak Linier	11
Gambar 2.7	Contoh (a) Gelombang Tegangan dan (b) Arus Beban Tidak Linear	11
Gambar 2.8	Gelombang Sinusoidal Murni	12
Gambar 2.9	Arus Harmonic Akibat Beban Tidak <i>Linier</i>	12
Gambar 2.10	Tipe Low Pass Filter Dan Hasilnya	14
Gambar 2.11	LPF Respon Filter Ideal (Lewat Dari Cut Off Frekuensi Hilang)	14
Gambar 2.12	LPF Respon Filter Praktis (Lewat Dari Cut Off Frekuensi Tidak Langsung Hilang)	15
Gambar 2.13	LPF dan Responnya	15
Gambar 2.14	Type High Pass Filter dan Responnya	14
Gambar 2.15	HPF dan Responnya	14
Gambar 2.16	Tipe Band Pass Filter (a) dan Responnya	17
Gambar 2.17	Tipe Band Pass Filter (b) dan Responnya	17
Gambar 2.18	Topologi Pasif Filter Induktor (L) dan Capacitor (C) di Rangkai Seri	18
Gambar 2.19	Jenis Inverter (a) Voltage Source Inverter (b) Current Source Inverter	20
Gambar 2.20	Topologi VSI tiga fasa	20
Gambar 3. 1	(a) Gambar Diagram Blok Sistem (b) <i>Single Line</i> Diagram	23
Gambar 3.2	Desain Pasif Filter	24
Gambar 3.3	Diagram Blok AFU Keseluruhan	25
Gambar 3.4	Diagram Blok AFU	25
Gambar 3.5	Pemodelan Beban Dengan Menggunakan Piecewise ..	26
Gambar 3.6	Bentuk Gelombang Yang Terdistorsi Oleh Harmonisa Dengan (A) Gelombang Tegangan (B) Gelombang Arus Beban (C) Gelombang Arus Sumber	27

Gambar 3.7	Harmonisa Yang Muncul	28
Gambar 3.8	Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Konstan	28
Gambar 3.9	Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Konstan	29
Gambar 3.10	Gelombang Arus Pada Sumber Fasa a,b,c Tanpa Filter Beban Berubah Dengan Tiga Kondisi	30
Gambar 3.11	Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban pertama	31
Gambar 3.12	Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban kedua	32
Gambar 3.13	Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban ketiga	33
Gambar 3.14	Gelombang Tegangan Pada Sumber Fasa a,b,c Tanpa Filter Beban Berubah Dengan Tiga Kondisi	34
Gambar 3.15	Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban pertama	35
Gambar 3.16	Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban kedua	36
Gambar 3.17	Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah Kondisi Beban Ketiga	37
Gambar 3.18	Proses Menghasilkan Tegangan Harmonic	38
Gambar 3.19	Skema Harmonic Loop	39
Gambar 3.20	Diagram Block Fundamental Loop	40
Gambar 3.21	Blok Diagram Kontrol Konduktansi	40
Gambar 4.1	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter	44
Gambar 4. 2	Bentuk Gelombang Arus Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter	45
Gambar 4.3	Bentuk Gelombang Arus Beban Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter	45
Gambar 4.4	Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter	46
Gambar 4.5	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Yang Berubah dan Menggunakan Pasif Filter	48
Gambar 4.6	Bentuk Gelombang Arus Sumber Dengan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter	48

Gambar 4.7	Bentuk Gelombang Arus Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter	49
Gambar 4.8	Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan di Sumber, Dengan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter	49
Gambar 4.9	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	52
Gambar 4.10	Bentuk Gelombang Arus di Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	52
Gambar 4.11	Bentuk Gelombang Arus di Beban, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	53
Gambar 4.12	Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan di Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>Command THD</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	53
Gambar 4.13	Bentuk Gelombang Arus Refrensi, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	54
Gambar 4.14	Bentuk Gelombang Keluaran <i>Gain</i> , Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	54
Gambar 4.15	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>Command THD</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	56
Gambar 4.16	Bentuk Gelombang Arus Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	57
Gambar 4.17	Bentuk Gelombang Arus di Beban, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	57
Gambar 4.18	Bentuk Perbandingan Gelombang Arus Beban dan di Sumber, Dengan Beban Konstan dan <i>THD Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	58
Gambar 4.19	Bentuk Gelombang Arus Refrensi Dengan Beban Konstan dan <i>Command THD</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	58

Gambar 4.20	Bentuk Gelombang Keluaran <i>Gain</i> Dengan Beban Konstan dan THD <i>Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	59
Gambar 4.21	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Berubah dan <i>Command</i> THD Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	61
Gambar 4.22	Bentuk Gelombang Arus di Sumber Dengan Beban Berubah dan <i>Command</i> Thd Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	61
Gambar 4.23	Bentuk Gelombang Arus di Beban Dengan Beban Berubah dan <i>Command</i> Thd Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	62
Gambar 4.24	Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan di Sumber Dengan Beban Berubah dan THD <i>Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	62
Gambar 4.25	Bentuk Gelombang Arus refrensi Dengan Beban Berubah dan THD <i>command</i> konstan menggunakan <i>HAFU</i>	63
Gambar 4.26	Bentuk Gelombang Keluaran <i>Gain</i> Dengan Beban Berubah dan THD <i>Command</i> Konstan Menggunakan <i>HAFU</i>	63
Gambar 4.27	Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Beban Yang Berubah dan THD <i>Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	66
Gambar 4.28	Bentuk Gelombang Arus Sumber Dengan Beban Berubah dan THD <i>Command</i> Berubah-Ubah Menggunakan <i>HAFU</i>	66
Gambar 4.29	Bentuk Gelombang Arus Beban Dengan Beban Berubah dan THD <i>Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	67
Gambar 4.30	Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber Dengan Beban Berubah dan <i>Command</i> Thd Berubah-Ubah Menggunakan <i>Hybrid Filter</i>	67
Gambar 4.31	Bentuk Gelombang Arus Refrensi Dengan Beban Berubah dan THD <i>Command</i> Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	68
Gambar 4.32	Bentuk Gelombang Keluaran <i>Gain</i> Dengan Beban Berubah dan <i>Command</i> Thd Berubah Menggunakan <i>HAFU</i>	68
Gambar 4.33	Grafik THD Arus.	70

Gambar 4.31 Grafik THD Tegangan 72

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Distorsi Tegangan Harmonik	13
Tabel 2.2 Distorsi Arus Untuk Sistem Saluran Distribusi (120V- 69KV)	13
Tabel 2.3 Valid State Dari Pensaklaran VSI.....	21
Tabel 3.1 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Dengan Beban Konstan	29
Tabel 3.2 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Dengan Beban Konstan.....	30
Tabel 3.3 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Pertama.....	31
Tabel 3.4 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Kedua	32
Tabel 3.5 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Ketiga	33
Tabel 3.6 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Pertama.....	35
Tabel 3.7 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Kedua.....	36
Tabel 3.6 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Ketiga	37
Tabel 4.1 Parameter Simulasi	43
Tabel 4.2 <i>Parameter Value</i>	44
Tabel 4.3 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Pada Beban Konstan Menggunakan Pasif Filter	46
Tabel 4.4 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Pada Beban Konstan Menggunakan Pasif Filter.....	47
Tabel 4.5 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Pada Beban Berubah Menggunakan Pasif Filter Kondisi Beban Pertama	48
Tabel 4.6 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Pada Beban Berubah Menggunakan Pasif Filter Kondisi Beban Pertama.....	49
Tabel 4.7 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Beban dan THD Command Konstan Kondisi <i>HAFU</i> Aktif.....	53
Tabel 4.8 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Beban dan THD Command Konstan Kondisi <i>HAFU</i> Aktif	55

Tabel 4.9 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus Beban Konstan dan THD Command Berubah Kondisi <i>HAFU</i> Aktif Kondisi Pertama	59
Tabel 4.10 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Beban Konstan dan THD command Berubah Kondisi <i>HAFU</i> aktif Kondisi Pertama	60
Tabel 4.11 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus beban berubah dan THD Command Konstan Kondisi <i>HAFU</i> Aktif Kondisi Pertama	64
Tabel 4.12 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan Beban Berubah dan THD Command Konstan Kondisi <i>HAFU</i> Aktif Kondisi Pertama	65
Tabel 4.13 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Arus beban dan THD Command Berubah Kondisi <i>HAFU</i> Aktif Kondisi Pertama	69
Tabel 4.14 <i>Individual Harmonic Distortion</i> (IHD) Tegangan beban dan THD Command Berubah Kondisi <i>HAFU</i> Aktif Kondisi Pertama	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kualitas daya merupakan hal penting untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Permasalahan kualitas daya listrik bagi suatu industri merupakan permasalahan yang sangat rumit dan melibatkan berbagai peralatan listrik yang berbeda pada system kelistrikan. Pada saat yang bersamaan, beban yang terdapat pada sebuah industri tergantung pada proses elektronik dan kontrol. Beban seperti itu sangat peka terhadap perubahan kualitas daya listrik. [1]

Beban tidak linier merupakan penyebab utama kemunculan harmonisa. Beban yang tidak linier adalah peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive*, *rectifier* dan *inverter*. Peralatan elektronika daya tersebut menggunakan dioda atau thyristor untuk mewujudkan konversi daya karena biaya komponen yang lebih rendah. Namun, peralatan tersebut akan memberikan kontribusi arus harmonik yang besar karena dalam sistem tenaga, dan distorsi harmonik yang dihasilkan dapat menimbulkan kerusakan peralatan yang sensitif atau mengganggu sistem komunikasi di sekitar sumber harmonik. [12]

Jenis filter yang digunakan adalah filter pasif, karena harganya yang relatif efisien dan murah. Akan tetapi sebuah link filter pasif hanya dapat memfilter satu frekuensi harmonisa, sehingga dibutuhkan sejumlah n link filter pasif untuk meminimalis sejumlah n harmonisa. Alternatif lain untuk mereduksi harmonisa adalah penggunaan filter aktif (berupa Inverter) yang dapat terhubung paralel. Konfigurasi seri dari filter aktif tidak efisien jika digunakan pada suatu aplikasi yang memerlukan arus yang besar, sedangkan penggunaan konfigurasi paralel filter aktif “yang benar-benar murni” membutuhkan biaya yang mahal untuk konstruksi dan pengoperasiannya. Hasil regenerasi dari filter aktif adalah berupa filter aktif model *hybrid*. Filter tersebut merupakan gabungan dari filter aktif dan filter pasif. Pada tugas akhir ini difokuskan pada pemodelan filter aktif dan filter pasif yang dirangkai seri untuk peredaman resonansi harmonisa atau eliminasi harmonik dengan konduktansi variabel.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana mengendalikan *Gain* meskipun beban atau system berubah *Gain* akan tetap mengikuti sistem pada saluran tegangan rendah 220 Volt tiga fasa.

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mensimulasikan dan menganalisis kondisi sistem kelistrikan di *plant* dengan Software.
2. Menentukan desain peralatan filter Pasif dan Aktif harmonisa untuk meredam gangguan harmonisa pada *plant* Software.
3. Kemampuan filter yang didesain digunakan untuk meredam harmonisa
4. Merancang skema *Series Active Filter* dengan menggunakan *hybrid* filter.

1.4. Ruang Lingkup

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Bagaimana mensimulasikan rangkaian filter *hybrid* dengan konduktansi variable
2. Bagaimana rangkaian filter *hybrid*.
3. Bagaimana membuat filter untuk meredaman resonansi harmonisa pada kelistrikan industri.

1.5. Batasan Masalah

1. Simulasi menggunakan Software.
2. Kualitas daya yang dievaluasi hanya harmonisa
3. Peredaman harmonisa menggunakan filter pasif dan filter aktif yang di rangkai seri
4. *Series Active Power Filter* dipasang pada sistem tegangan rendah 3 fasa, 60 Hz, 220 Volt series dengan beban seimbang tidak-*linier* sebesar 1,7 kW, 1,4 KW dan 1 KW

1.6. Metodologi

Metodologi penyelesaian masalah dalam pembuatan tugas akhir ini meliputi:

1. Metode literatur penulis membaca dan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan topologi series Active Filter dari jurnal konfrensi, publikasi ilmiah, beberapa tugas akhir dan aktikel-artikel dari internet.
2. Pengambilan data Setelah dilakukan studi literatur, maka penulis melakukan pengumpulan data tentang parameter-parameter pada sofware.
3. Mendesain sistem rangkaian Setelah mengumpulkan data, penulis

membuat pemodelan rangkaian *Series Active Filter* untuk disimulasikan. Pemodelan terdiri dari beban tidak linier tetap atau berubah-ubah (1,7 kW, 1,4 kW dan 1 kW) , Current Control - Voltage Source Inverter (CC-VSI), eliminasi harmonik, memperhitungkankan besarnya parameter-parameter dan nilai komponen yang didapat.

4. Data yang diperoleh kemudian diolah dalam bentuk simulasi untuk mengetahui nilai harmonisa dengan menggunakan *software* untuk filter aktif dan akan di seimbangkan ke filter pasif untuk menggunakan filter pasif.
5. Penulisan Penulisan buku merupakan kumpulan informasi yang disajikan dalam bentuk buku yang berasal dari hasil pengaplikasian metodologi yang dilakukan

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan masing-masing bab diuraikan sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kontribusi penelitian dan sistematika penulisan

BAB 2 Harmonisa di Power Sistem

Berisi tentang karakteristik *beban tidak linier*, fungsi dari CC-VSI, dan standar harmonisa.

BAB 3 Reduksi Harmonic Menggunakan *Var Conduction Hybrid Active Power Filter Unit (AFU)*

Bab ini menjelaskan pemodelan sistem *Series Active Filter* dan perancangan kontrol sistem yang meliputi pemodelan sistem tegangan rendah 220 Volt tiga fasa.

BAB 4 Simulasi dan Analisis

Sistematika pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut: Berisi parameter simulasi, hasil simulasi sistem, dan analisa hasil simulasi

BAB 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil simulasi dan analisa.

1.8. Relevansi

Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi referensi untuk mendesain *Series Active Filter* untuk aplikasi perbaikan kualitas daya pada sistem kelistrikan industri. Khususnya pada perbaikan harmonisa.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang sama untuk tugas akhirnya.

BAB 2 HARMONISA DI POWER SISTEM

Harmonisa adalah suatu gelombang sinusoidal baik tegangan ataupun arus yang memiliki frekuensi tinggi dimana frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental suatu contoh frekuensi 50 Hz atau 60 Hz. Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya (f_1, f_2, f_3, \dots dst). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ($h_1, h_2, h_3, h_5, \dots$ dst) pada frekuensi kelipatannya. Makin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk tidak sinusoidal. Jika frekuensi fundamental suatu sistem tenaga listrik adalah $f_0=60$ Hz maka frekuensi harmonisa orde ke- n adalah : $n \times f_0$.

Gelombang harmonisa akan mendistorsi gelombang sinusoidal atau gelombang fundamentalnya, gelombang harmonisa akan terdapat beberapa komponen, yaitu misalnya harmonisa ke-1 (h_1), ke-2 (h_2), ke-3 (h_3), dan seterusnya. Harmonisa ke-3 artinya harmonisa yang mempunyai frekuensi tiga kali dari frekuensi fundamentalnya. Jadi, bila frekuensi fundamental 60 Hz, maka harmonisa ke-3 60hz dikalikan 3 maka mempunyai frekuensi 180 Hz atau dapat dituliskan dengan persamaan:

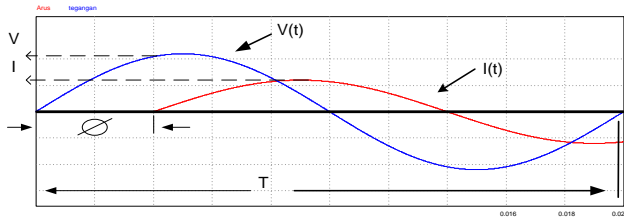
$$f_n = n \times f_0 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana: n adalah bilangan harmonisa yang kita ketahui
 f_0 adalah frekuensi fundamental

Gelombang harmonisa tersebut menumpang pada gelombang fundamental sehingga terjadi gelombang cacat merupakan penjumlah antara gelombang fundamental dengan gelombang harmonisa. Gelombang tegangan fundamental mempunyai frekuensi f_0 , harmonisa ke-dua mempunyai frekuensi $2f_0$, harmonisa ke-tiga mempunyai frekuensi $3f_0$ dan harmonisa ke- h mempunyai frekuensi hf_0 .

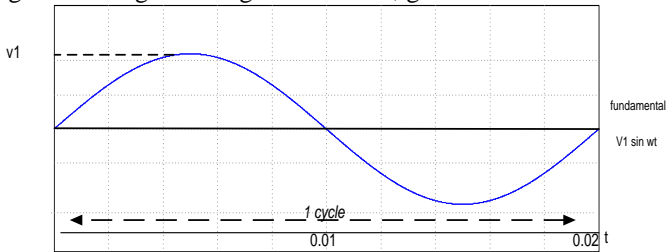
Distorsi harmonisa di terjemahkan melalui suatu distorsi dari gelombang dan tegangan di jaringan yang tidak lagi sinusoidal, hal tersebut menyebabkan timbulnya arus, tegangan dan daya harmonisa, hal tersebut di dalam jaringan yang mengandung beban tidak linier. Distorsi harmonisa, yang membentuk suatu bentuk distorsi kualitas dari arus,

tegangan, daya jaringan adalah besaran *variable* yang berubah-ubah, besaran distorsi tersebut dapat dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Beban tidak linier antara lain: variable speed drive, komputer, printer.

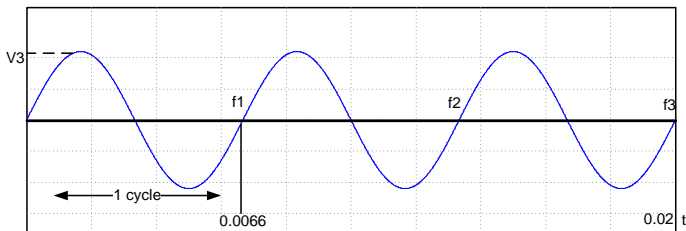


Gambar 2. 1 Gelombang Sinus Arus dan Tegangan

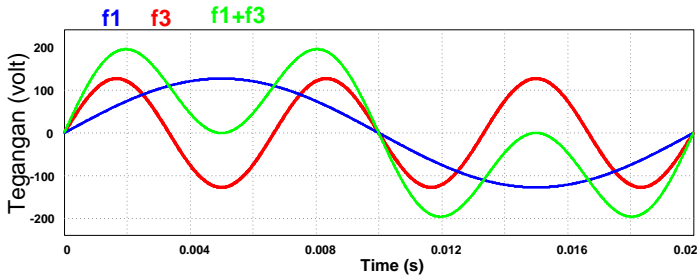
Gambar 2.1 Dimana $V(t)= V\sin (wt)$, $I(t)= I \sin (wt-\phi)$, $w =$ angular velocity $= 2\pi f$. Gelombang tidak sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang-gelombang sinusoidal, seperti gambar 2.4 , gambar 2.2 gelombang fundamental, gambar 2.3 harmonisa ke 3 :



Gambar 2.2 Gelombang Fundamental ($f1 \sin \omega t$)



Gambar 2.3 Gelombang Harmonisa ke 3 ($f3 \sin \omega t$)



Gambar 2.4 Gelombang Fundamental, Harmonic ke 3 dan Hasil Penjumlahannya (F1+F3)

Dalam pengukuran harmonisa ada beberapa petunjuk penting yang harus dipahami, yaitu *Individual Harmonic Distortion* (IHD) dan *Total Harmonic Distortion* (THD). *Individual harmonic distortion* (IHD) adalah perbandingan antara nilai rms dari individual harmonisa terhadap nilai rms fundamentalnya [1]. IHD ini berlaku untuk tegangan dan arus.

$$\text{IHD } n = \frac{I_n}{I_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

Misalnya, diasumsikan bahwa nilai Root Main Square (RMS) harmonisa ke-5 pada beban tidaklinear adalah 2.13 A, nilai harmonisa ketujuhnya adalah 1.479 A dan nilai fundamentalnya adalah 10 A, maka nilai distorsi arus individual pada harmonisa kelima adalah:

$$\text{IHD } 5 = \frac{2.13}{10} = 0.213 = 21.3\%$$

Dan nilai distorsi arus individual pada harmonisa ke tujuh

$$\text{IHD } 7 = \frac{1.479}{10} = 0.1479 = 14.79\% \text{ dst}$$

Berdasarkan pengertian di atas, nilai *IHD1* adalah selalu 100%. Perhitungan harmonisa ini dikenal sebagai distorsi harmonisa yang dibandingkan pada nilai rekuensi fundamentalnya. Perhitungan ini digunakan oleh *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE).

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS penjumlahaan semua komponen harmonisa terhadap nilai RMS nilai fundamentalnya. Sebagai contoh, jika arus tidak linear

mempunyai komponen fundamental I_1 dan komponen harmonisnya $I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, \dots$, maka nilai rms harmonisnya adalah:

$$\text{Atau IHD} = \frac{I_H}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$I_{rms} = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + \dots)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Atau THD I} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} [2] \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Atau THDv} = \frac{\sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + \dots) - I_1^2}}{I_1} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 , THD rata-rata di tuliskan dalam bentuk % (persen) dengan cara dikalikan 100%. Persamaan tersebut adalah contoh untuk perhitungan indeks cacat Arus. Semakin banyak data komponen harmonisa yang digunakan, maka hasil perhitungan arus akan semakin akurat [2]. Disisi lain, definisi tegangan efektif pada suatu gelombang cacat adalah nilai efektif dari seluruh komponen pembentuk tegangan. Hal ini berarti bahwa harga efektif suatu tegangan merupakan akar kwadrat jumlah dari komponen fundamental; dan harmonisa. Apabila V_0 , maka :

$$V_0 = \sqrt{(V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2 + V_7^2 + \dots)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Maka THDv} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{THDv} = \sqrt{\left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dari persamaan di atas, maka untuk menghitung indeks cacat gelombang hanya diperlukan 2 data yaitu harga efektif tegangan cacat (V_0) dan harga efektif komponen fundamentalnya (V_1) [2].

Suatu misal, THD suatu tegangan bernilai 50%, berarti bahwa kandungan distorsi bernilai sama besar dengan tegangan fundamental. Semakin kecil nilai THD berarti gelombang tersebut semakin bersih dari komponen harmonisa, dan semakin mendekati bentuk gelombang fundamentalnya. Sebaliknya, jika nilai THD semakin besar, maka

gelombang tersebut semakin cacat. THD dapat bernilai nol jika gelombang tidak mengandung harmonisa sama sekali. THD dapat berniali 100%, yaitu jika besar distorsi seimbang dengan besar komponen fundamental, namun THD dapat bernilai lebih besar dari 100% yaitu berarti bahwa nilai distorsi melebihi nilai fundamentalnya atau cacat gelombang yang terjadi membentuk gelombang yang tidak mirip dengan gelombang fundamentalnya

Pengaruh dari adanya harmonik yaitu rusaknya peralatan transformator, mesin-mesin listrik, switchgear, fuse dan rele proteksi. Transformator, motor listrik dan peralatan pemutus (switchgear) akan mengalami naiknya rugi-rugi dan pemanasan melebihi standart alat tersebut. Motor induksi akan mengalami kegagalan start dan berputar pada kecepatan subsinkron (*subsynchronous speeds*). Pemutus tenaga akan mengalami kesalahan pemutusan arus. Umur kapasitas akan lebih pendek disebabkan panas dan stress dari dielektriknya. Karakteristik arus waktu dari fuse dapat berubah, dan rele proteksikan mengalami perilaku yang tak menentu. Akibat lain yang dapat ditimbulkan oleh adanya hamonisa antara lain adalah:

1. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonic arus frekueensi tinggi. Harmonisa dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWH meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar. Sebagai akibatnya terjadi kesalahan penunjukkan kWH meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekwensi dasar.
2. Pemutus beban dapat bekerja di bawah arus utamanya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenalan, dan
3. Kerusakan pada sistem computer.

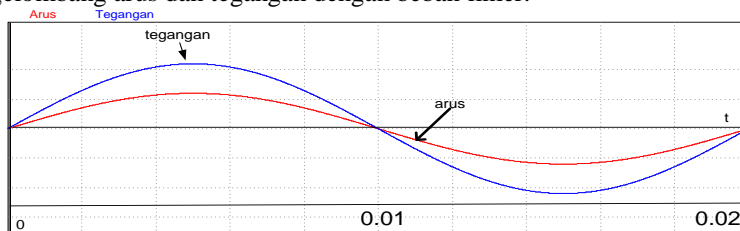
2.1. Beban

Beban dalam kelistrikan adalah sebuah komponen elektrik atau bagian dari suatu rangkaian yang mengkonsumsi daya listrik. Dalam kehidupan sehari-hari, peralatan elektronik di sekitar kita adalah contoh beban. Beban mempengaruhi nilai besaran-besaran elektris yang mengacu pada tegangan maupun arus, sebagai contoh adalah besar hambatan sebuah lampu akan mempengaruhi besar arus yang mengalir pada rangkaian dengan suplai tegangan yang tetap. Dimana beban terbagi atas dua jenis beban linier yang bentuk gelombang dan arusnya pada

beban mengikuti sumber, sedangkan beban tidak linier tegangan dan arus berubah tidak sinusoidal lagi tetapi berbentuk harmonisa bahkan bisa membentuk gelombang kotak/*square*. Berikut ini penulis sampaikan penjelasan beban linier dan tidak linier.

2.1.1 Beban Linier

Beban linier adalah beban yang memiliki impedansi selalu tetap sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu [1]. Konsep beban konstan menggunakan hukum OHM bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan, dari hukum tersebut jadi bentuk gelombang Tegangan dan arus pun akan sama. Diasumsikan di beri sumber gelombang murni sinus soidal atau AC satu phasa arus pun akan mengalir murni sinusoidal tanpa adanya harmonisa seperti pada gambar 2.5. Beban linier berupa elemen pasif seperti resistor, dan kapasitor. Beberapa contoh bebean linear yang ada di sekitar penulis adalah lampu pijar, pemanas, resistor, dan lain-lain. Berikut ini adalah contoh bentuk gelombang arus dan tegangan dengan beban linier.

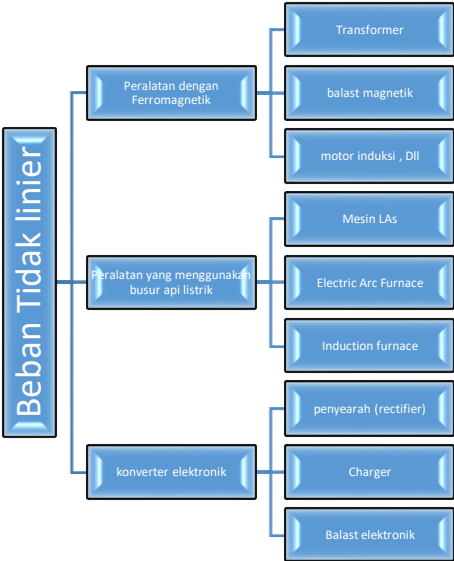


Gambar 2.5 Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Dengan Beban Linear

2.1.2 Beban Tidak Linear

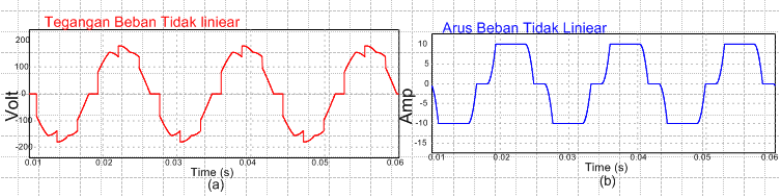
Beban tidak linear adalah sebuah beban yang resistansinya berubah-ubah dalam setiap periodenya. Dari hasil tersebut beban tidak linier tidak sesuai dengan hukum OHM seperti beban linier pada pembahasan sub bab 2.1.1. Bentuk gelombang arus yang dihasilkan oleh beban tidak linier berbeda-beda yang di bandingkan dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat. Dengan semakin meluasnya pemakaian beban tidak linear di rumah tangga maupun di industri, maka beban tidak linier berpengaruh pada jaringan sistem di PLN, yang di tunjukan dengan gelombang sinusoidal yang mengalami cacat. berikut ini

adalah beberapa contoh beban tidak linier untuk industri ataupun rumah tangga [1].



Gambar 2.6 Jenis-Jenis Beban Tidak Linier

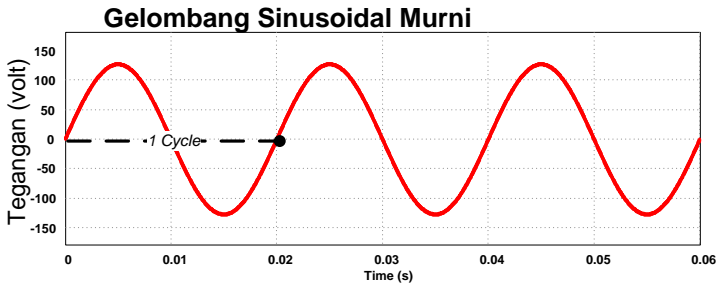
Ini adalah contoh bentuk gelombang tegangan dan arus dengan beban tidak seimbang:



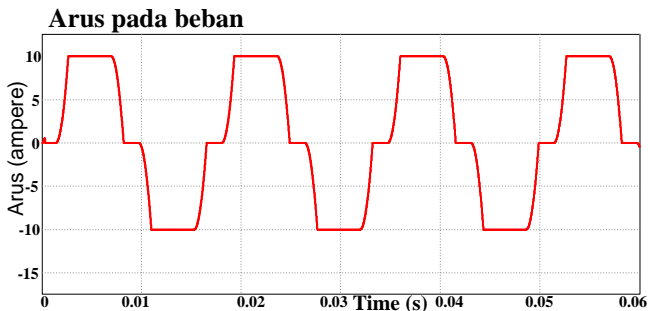
Gambar 2.7 Contoh (a) Gelombang Tegangan dan (b) Gelombang Arus Pada Beban Tidak Linear

Gambar 2.7 didapatkan penulis dari percobaan yang dilakukan penulis untuk mendesain beban non linier dengan tegangan 220V line to line, yang menjadi masukan beban tidak linier berdaya 1.76 kW.

Sehingga saat desain diaplikasikan dalam software maka dihasilkan bentuk tegangan dan gelombang arus pada gambar 2.8 sistem diaplikasikan tanpa menggunakan filter apapun.



Gambar 2.8 Gelombang Sinusoidal Murni



Gambar 2.9 Arus Harmonisa Akibat Beban Tidak Linier (Ekstrim)

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronika dalam jumlah banyak akan menimbulkan masalah yang sangat kompleks sehingga bentuk gelombangnya tegangan dan arusnya rusak di tunjukkan pada gambar 2.7 dan arus harmonik gambar 2.9 yang menjadi masukan sang penulis untuk memperbaikinya, sehingga nantinya bentuk gelombang arus bisa kembali menjadi sinusoidal murni gambar 2.8. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban tidak linier [1]. Arus harmonisa ini menimbulkan banyak konsekuensi diperalatan sistem tenaga listrik.dengan contoh pemanasan yang tinggi pada kapasitor, transformator, dan pada mesin-mesin listrik yang berputar serta kesalahan pada pembacaan alat ukur RMS.

2.2. Standar Harmonisa(IEEE)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk tegangan . Untuk standart harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk Standar harmonisa tegangan di tentukan oleh tegangan system yang digunakan. Standart distorsi harmonisa tegangan dan arus berdasarkan standart IEEE 519-1992 [3] sebagai berikut :

Tabel 2.1 Distorsi Tegangan Harmonik

Distorsi Tegangan Harmonik dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan	< 69 KV	69-138kv	>138kv
THD	5.0	2.5	1.5

Tabel 2.2 Distorsi Arus Untuk Sistem Saluran Distribusi (120V-69 kV)

Harmonisa maksimal arus dalam persen						
Harmonisa setiap orde (orde ganjil)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Batas harmonisa orde genap adalah 25% dari harmonisa orde ganjil di atas						

2.3. Jenis Filter

Filter adalah suatu rangkaian yang fungsinya digunakan untuk membuang tegangan yang tidak dibutuhkan atau harmonisa. Dengan demikian filter dapat dikelompokkan menjadi filter pasif dan filter aktif output pada frekuensi tertentu. Untuk merancang filter dapat digunakan komponen pasif (R,L,C) dan suatu contoh komponen aktif (op-amp, transistor).

2.3.1. Filter Pasif

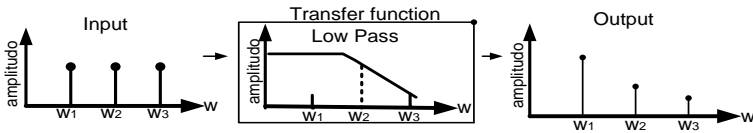
Filter pasif dipasang pada sistem dengan tujuan utama untuk meredam harmonik dan tujuan lain yaitu untuk memperbaiki power factor, berupa komponen L, C yang dapat menyelaraskan untuk satu atau dua frekuensi. Filter dengan penalaan tunggal, penyelarasan pada salah satu orde harmonisa (biasanya pada orde harmonisa rendah). Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor (RLC). Impedansi dari dinyatakan dalam :

$$Z(w) = R + (\omega L \frac{1}{\omega C}) \dots\dots\dots (2.10)$$

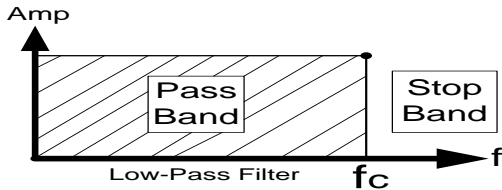
Pada dasarnya filter dapat dikelompokkan berdasarkan response (tanggapan) frekuensinya menjadi 4 jenis, yaitu:

- 1. filter lolos rendah/ Low Pass Filter (LPF),
- 2. filter lolos tinggi/ High Pass Filter (HPF),
- 3. filter lolos rentang/ Band Pass Filter (BPF),
- 4. filter tolak rentang/ Band Stop Filter atau Notch Filter

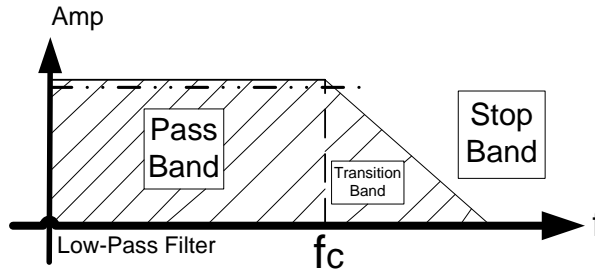
Untuk membuat filter sering kali dihindari penggunaan induktor, terutama karena ukurannya yang besar. Sehingga umumnya filter pasif hanya memanfaatkan komponen R dan C saja. [4]



Gambar 2.10 Tipe Low Pass Filter dan Hasilnya [4]

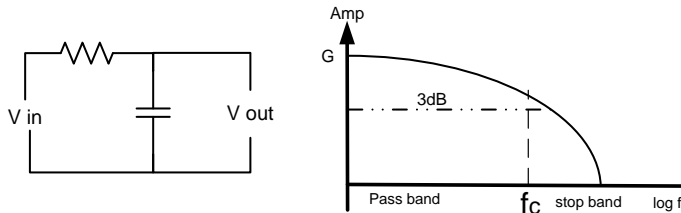


Gambar 2. 11 LPF Respon Filter Ideal (Lewat Dari Cut Off Frekuensi Hilang) [4]



Gambar 2. 12 LPF Respon Filter Praktis (Lewat Dari Cut Off Frekuensi Tidak Langsung Hilang) [4]

LPF (*Low Pass Filter*) = filter lolos rendah, filter lolos rendah adalah filter yang hanya melewatkan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off (f_c) yang penulis tentukan. Gambar 2.10 frekuensi tersebut outputnya mengecil dalam rangkaian idealnya seharusnya tidak ada atau langsung hilang. Rangkaian resistor kapasitor LPF dan hasil frekuensinya ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 LPF dan Responya [4]

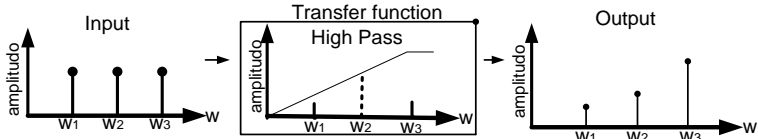
Rangkaian seri RC pada gambar 2.13 hampir sama dengan rangkaian pembagi tegangan dari dua buah hambatan seri, sehingga tegangan outputnya adalah:

$$V_{out} = \frac{1/j\omega c}{\frac{1}{j\omega c} + R} V_{in} \dots\dots\dots (2.11)$$

Penguatan tegangan di definisikan *Gain* (G), tapi filter sering menggunakan penguatan daya, sehingga penguatan filter RC penulis tunjukan gambar LPF dan keluarannya

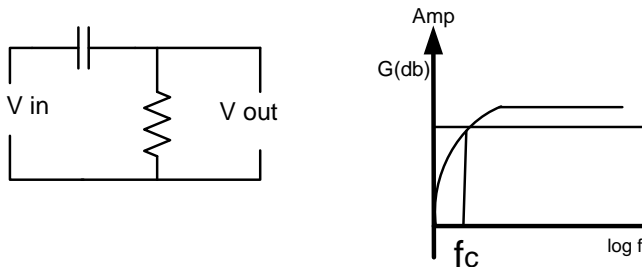
$$Gain = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \left| \frac{\frac{1}{j\omega C} I}{\left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) I} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\omega RC} \right|, \text{ atau } Gain = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \dots (2.12)$$

Dengan menggunakan $\omega = \frac{1}{RC}$ atau $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ [4]..... (2.13)



Gambar 2. 14 Tipe High Pass Filter dan Responnya[4]

High Pass Filter (HPF) = filter lolos tinggi Filter lolos tinggi adalah filter yang outputnya hanya melewati frekuensi diatas frekuensi cut-off (f_c). Di bawah frekuensi tersebut output pada desain idealnya tidak ada. Rangkaian RC HPF pada gambar 2.15 dan tanggapan frekuensinya ditunjukkan pada berikut :



Gambar 2. 15 HPF dan Responnya [4]

Dengan memanfaatkan rangkaian pembagi tegangan, diperoleh tegangan outputnya adalah $V_{out} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R} V_{in}$, dengan demikian penguatannya adalah :

$$Gain = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \left| \frac{RI}{\left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) I} \right| = \left| \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{\omega^2 C^2 R^2 + j\omega RC}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \dots (2.14)$$

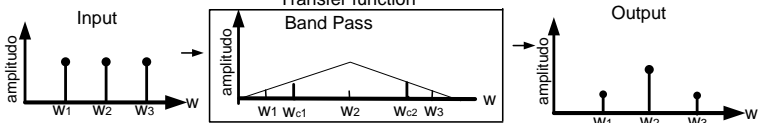
Untuk menghitung besarnya dilakukan sebagai berikut:

$$|G| = |X + jY| = \sqrt{(X + jY)(X - jY)} = \sqrt{X^2 + Y^2} \dots (2.15)$$

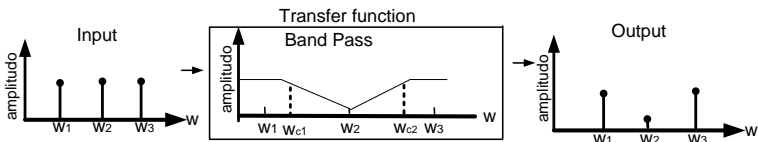
Dengan Y: komponen imajiner, X: komponen real , sehingga diperoleh :

$$|G| = \sqrt{\frac{(\omega RC)^2 (\omega RC)^4}{(1 + \omega^2 C^2 R^2)^2}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ frekuensi cut-off



Gambar 2. 16 Tipe Band Pass Filter dan Responnya[4]

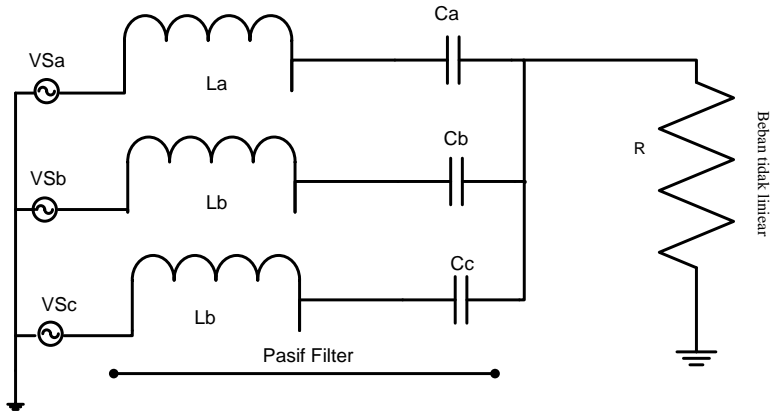


Gambar 2. 17 Tipe Band Pass Filter dan Responnya[4]

Band Pass Filter (BPF)= filter lolos dengan antara/rentang. Untuk membuat filter lolos rentang dapat dilakukan dengan menggabungkan LPF ditambah HPF atau HPF ditambah LPF. Nantinya rangkaian memiliki beban yang lebih besar, dengan maksud :

1. Bila dipilih LPF ditambah dengan HPF maka beban (impedansi) HPF harus lebih besar di bandingan dengan LPF
 2. Bila dipilih HPF ditambah dengan LPF maka beban (impedansi) LPF harus lebih besar di bandingan dengan HPF
- [4]

Filter pasif juga bisa didesain dengan inductor dan kapasitor yang di seri di juga sangat efektif dalam mereduksi harmonisa pada sistem jaringan industri yang masukan tengangan sinus murni. Karena adanya beban tidak linier maka gelombang tidak menjadi sinus murni tetapi ada cacat (riak) gelombang. Fungsi pasif filter ini mereduksi cacat gelombang tadi sehingga mendekati sinus murni.



Gambar 2. 18 Topologi Pasif Filter Induktor (L) dan Capacitor (C) di Rangkai Seri

Dari topologi di atas didapatkan rumus sebagai berikut :

$$XL = XC \dots\dots\dots (2.17)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fc} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$4\pi^2 f^2 = \frac{1}{LC} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$2\pi f = \sqrt{\frac{1}{LC}} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$f0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \dots\dots\dots (2.22)$$

2.3.2. Filter Aktif

Filter Aktif bekerja dengan cara memberikan arus pada grid dengan nilai harmonisa yang sama . Nilai harmonisa diperoleh dari arus beban yang di *inputkan* ke rangkaian pembentuk arus referensi. Melalui pengaturan saklar tertentu, sinyal mengendalikan pensaklaran pada komponen pensaklaran inverter. Keluaran inverter akan mengikuti referensi pengaturan saklar. Keluaran inverter juga menghasilkan sinyal harmonisa yang bernilai sama dengan saluran. Penjumlahan dari harmonisa jala-jala dengan harmonisa filter aktif akan saling

menghilangkan. Keadaan ini menghasilkan sinyal arus jala-jala yang bebas dari harmonisa.

2.3.3. *Hybrid Filter* (Pasif dan Aktif)

Hybrid filter adalah sistem penggabungan filter pasif dan aktif, yang tujuannya lebih mengefektifkan sebuah sitem dalam hal ini untuk meredam harmonisa sebaik mungkin. Untuk filter pasif penulis hanya mendesain L dan C di rangkai seri yang sesuai dengan harmonisa yang terbesar, dan untuk filter aktifnya penulis menggunakan bantuan filter HPF stelah itu LPF yang akan di inject ke VSI.

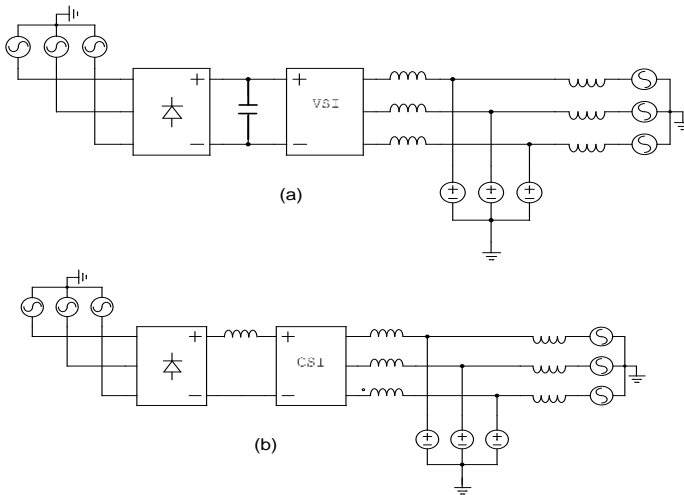
2.4. *HAFU (Hybrid Active Filter Unit) Beban VSI*

Hybrid Active Filter Unit (HAFU) adalah penggabungan pasif filter dengan aktif filter sesuai rancangan penulis. Dimana penulis membuat filter aktif dengan membandingkan harmonic loop dan fundamental loop yang di control dengan PI untuk menghasilkan arus refrensi yang menjadi masukan CC-VSI.

2.4.1. Prinsip Kerja VSI

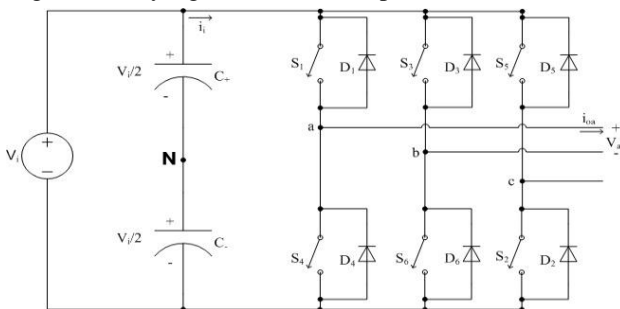
Inverter adalah salah satu rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk merubah gelombang masukan berupa tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Sumber DC dapat berupa baterai, PV, sel surya dan lain sebagainya. Dalam aplikasinya inverter tiga fasa ini tidak hanya berfungsi merubah tegangan DC –AC saja melainkan dapat berperan sebagai pengatur tegangan dan frekuensi keluaran generator induksi. ^[5]

Berdasarkan media penyimpanan sementara inverter terbagi menjadi *Voltage Source Inverter (VSI)* dan *Current Source Inverter (CSI)*. VSI menggunakan kapasitor sebagai media penyimpanan sebelum dihubungkan dengan rangkaian pensaklarannya sedangkan CSI menggunakan induktor sebagai media penyimpanan sementara. Contoh rangkaian VSI dan CSI ditunjukkan oleh berikut



Gambar 2. 19 Jenis Inverter (a) Voltage Source Inverter (b) Current Source Inverter ^[6]

Topologi umum dari VSI 3 fasa terdiri dari 6 switch $S_1 \sim S_6$ yang terpasang sedemikian rupa seperti pada gambar 2.20. Metode pensaklaran ini harus terintegrasi agar dalam waktu yang bersamaan tidak ada switch yang menyala dalam satu lengan inverter yang bisa mengakibatkan hubungan singkat. Sebaliknya, saklar di lengan tersebut juga tidak boleh terbuka dalam waktu yang bersamaan karena dapat mengakibatkan gelombang keluaran yang muncul tidak dapat di definisikan.



Gambar 2. 20 Topologi VSI Tiga Fasa

Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan pensaklaran yang harus dipenuhi untuk menghasilkan keluaran berupa gelombang tiga fasa. Kondisi 1 menunjukkan bahwa S_1, S_2 dan S_6 diharuskan menyala pada saat yang bersamaan dan sebaliknya S_4, S_3, S_1 harus dalam kondisi mati pada saat yang bersamaan. Hal ini untuk menghindari kondisi hubung singkat yang bisa terjadi pada 1 lengan inverter.[7]

Tabel 2.3 Valid State Dari Pensaklaran VSI ^[8].

State	State θ	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
S_1, S_2 , dan S_6 menyala dan S_4, S_5 , dan S_3 mati	1	V_i	0	$-V_i$
S_2, S_3 , dan S_1 menyala dan S_5, S_6 , dan S_4 mati	2	0	V_i	$-V_i$
S_3, S_4 , dan S_2 menyala dan S_6, S_1, S_5 mati	3	$-V_i$	V_i	0
S_4, S_5 , dan S_3 menyala dan S_1, S_2 dan S_6 mati	4	$-V_i$	0	V_i
S_5, S_6 , dan S_4 menyala dan S_2, S_3 , dan S_1 mati	5	0	$-V_i$	V_i
S_6, S_1 , dan S_5 menyala dan S_3, S_4 , dan S_2 mati	6	V_i	$-V_i$	0
S_1, S_3 , dan S_5 menyala dan S_4, S_5 , dan S_2 mati	7	0	0	0
S_4, S_6 , dan S_2 menyala dan S_1, S_3 dan S_5 mati	8	0	0	0

2.4.2. Average Model Switching

Pensaklaran *Average Model Switching* ada perbedaan dengan pensaklaran secara menyeluruh pensaklaran yang dilakukan *Switching*. Perhitungan menggunakan komparator yang nantinya akan menghasilkan pulsa *Switching* pulsa tersebut digunakan untuk mengatur *switching* pada inverter sehingga memiliki output yang sesuai dengan dengan sinyal refrensinya [18]. Penulis akan menunjukan persamaan tegangan keluaran inverter dengan *switching* perhitungan :

$$V_{ab} = m_a \times \sqrt{3} \times \frac{V_i}{2} \quad 0 < m_a \leq 1 \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

V_{ab} = Tegangan keluaran *line to line* inverter (V)

m_a = Perbandingan antara amplitudo sinyal modulasi dengan amplitudo sinyal *carrier*

V_i = Tegangan masukan inverter (V)

tetapi juga dapat digunakan untuk semua model beban.

Pensaklaran yang penulis lakukan tidak menggunakan komparator maupun inverter, tetapi menggunakan perkalian antara sinyal DC dan AC. Dimana saat Sinyal AC yang menjadi sinyal referensi (fa, b, c 1) ini penulis hasilkan dari suatu proses pembangkitan sinyal referensi sedangkan sinyal DC merupakan sinyal tenaga. Tujuan menggunakan *Average Model Switching* adalah model ini memiliki waktu simulasi yang lebih singkat di bandingkan dengan *Switching* Perhitungan. Dengan persamaan tegangan dan arus pada *Average Model Switching* adalah :

$$\begin{bmatrix} f_{ab} \\ f_{bc} \\ f_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_m \cos(wt) \\ f_m \cos(wt - 120^\circ) \\ f_m \cos(wt + 120^\circ) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{ab} \\ f_{bc} \\ f_{ca} \end{bmatrix} x V_{dc} \quad (2.24)$$

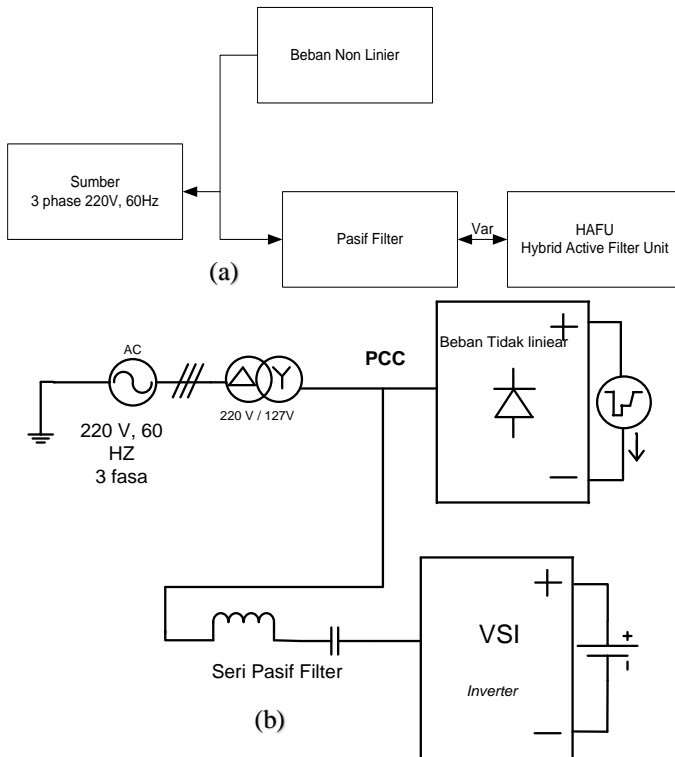
$$I_{dc} = [f_{ab} \quad f_{bc} \quad f_{ca}] x \begin{bmatrix} I_{ab} \\ I_{bc} \\ I_{ca} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

BAB 3

REDUKSI HARMONIK MENGGUNAKAN Var KONTROL HYBRID ACTIVE FILTER UNIT (HAFU)

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai desain dan pemodelan masing-masing bagian dari sistem secara keseluruhan. Simulasi sistem ini menggunakan *software*.

3.1. Diagram Blok System



Gambar 3. 1 (a)Gambar Diagram Blok Sistem (b) *Single Line* Diagram

Gambar 3.1 dalam system yang penulis buat mengacu pada rangkaian paper [12], memakai sumber 3 phasa 220 volt yang menjadi supply beban tidak *linear* dan rangkian pasif filter dan AFU di rangkai secara seri, di dalam *Hybrid* active filter unit atau yang di singkat (HAFU) didalamnya adalah rangkian average model.

3.2. Desain filter

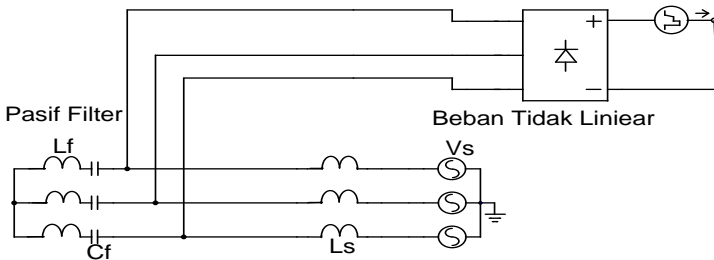
Topologi *Hybrid* filter terdiri dari filter aktif dan filter pasif dalam konfigurasi yang berbeda. *Hybrid* filter aktif efektif mengatasi dan mengurangi masalah baik pasif filter dan solusi filter aktif dan memberikan pendekatan praktis kompensasi harmonisa, khususnya bagi daya beban tidak linear [11]. Dimana sistem seri aktif filter memiliki nilai yang kecil biasanya di angka 5%.

Untuk desain filter pasif penulis meletakkan setelah sumber, dan harmonisa yang dihilangkan adalah harmonisa ke 7 [12] Karena harmonisa yang akan di hilangkan h7 maka $f_1 = 60\text{Hz}$ maka $7 \times 60\text{hz} = 420\text{Hz}$, maka kapasitor dtentukan sendiri $C=150\mu\text{f}$ yang mudah dipasaran:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \dots$$

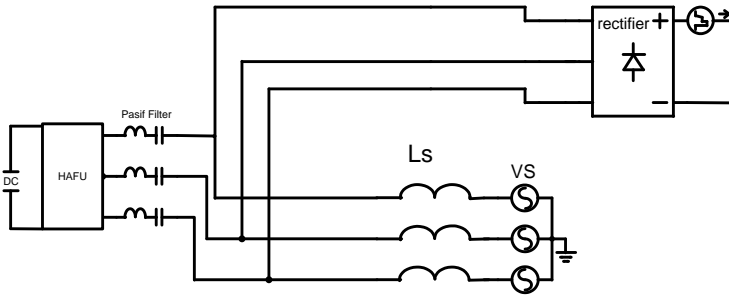
$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times 420^2 \times 150 \times 10^{-6}} = 9.5827 \times 10^{-4} = 0.958 = 1\text{mH}$$

Dengan memakai kapasitor dan induktor dalam desain filternya, yang nantinya akan di seri dengan aktif filter. L_f adalah Induktor filter dan C_f adalah kapasitor filter berfungsi sebagai pasif filter. L_s adalah Induktansi sumber berasal dari induktansi bocor dari trafo ditambah dengan Induktansi saluran [12] sebesar 2.6 mH seperti pada gambar 3.2.

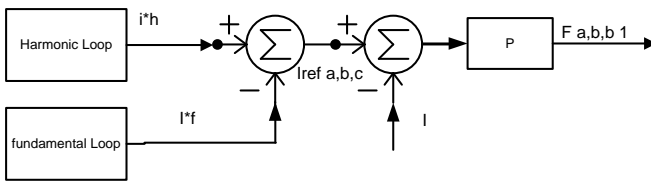


Gambar 3. 2 Desain Pasif Filter

Setelah kita mendesain pasif filter kita akan menseerikan dengan aktif filter, dan untuk desain aktif filter *AFU*.



Gambar 3. 3 Diagram Blok *AFU* Keseluruhan



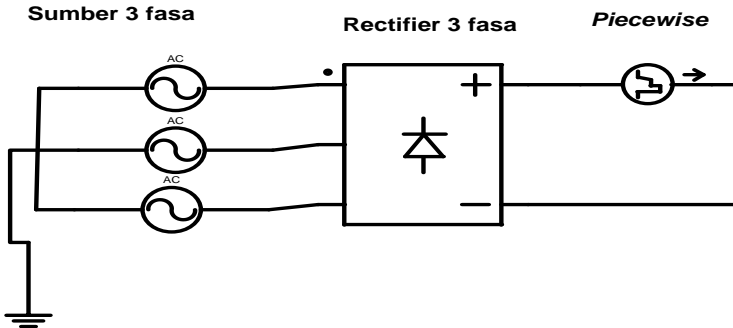
Control Block Diagram HAFU

Gambar 3. 4 Diagram Blok *AFU*

Hybrid aktif filter unit penulis dengan desain secara penuh pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 untuk mengontrol *AFU* (Aktif Filter Unit) penulis menggunakan VSI, dan inputan VSI kita ketahui di bab II memiliki inputan frekuensi f_a , f_b , f_c dan I_a , I_b , I_c yang diolah dari *AFU*.

3.2.1. Pemodelan Beban Sumber

Dalam hal ini penulis mensimulasikan beban dengan mengatur besar arus yang mengalir pada rangkaian, hal ini dilakukan dengan menggunakan *piecewise* gambar 3.5 berfungsi mengatur besar arus pada waktu tertentu dari rangkaian penyearah sehingga bisa memodelkan beban yang dapat menarik arus sesuai yang dimodelkan penulis dalam jangka waktu tertentu.

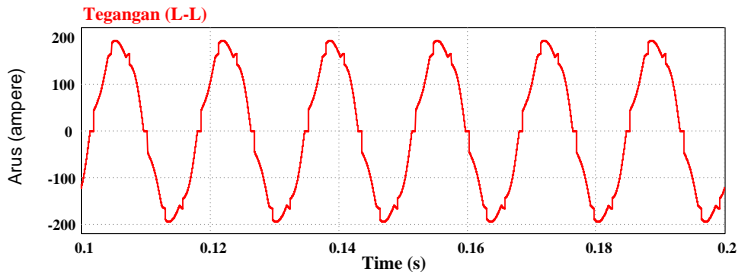


Gambar 3. 5 Pemodelan Beban Dengan Menggunakan Piecewise

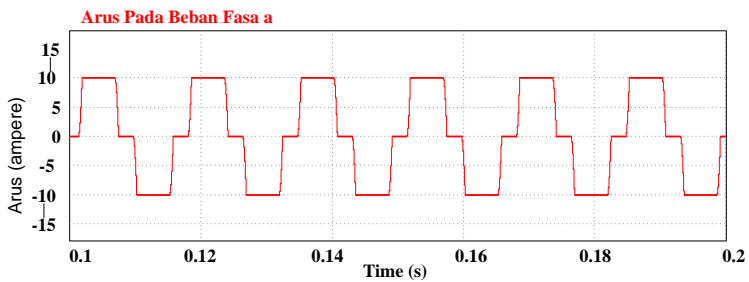
3.2.2. Pemodelan Filter Pasif

Beban tidak seimbang dimodelkan dengan menggunakan sumber arus. Tiga sumber arus yang disusun secara paralel untuk setiap fasanya. Terdapat beberapa mode pengoperasian yaitu mode beban konstan dan beban berubah-ubah. Pada saat mode beban konstan, pemodelan sumber arus adalah dengan cara arah keluaran sumber arus searah dengan arah arus sumber ke beban, sehingga seolah sumber arus adalah beban yang menarik arus dari sumber secara konstan 1,76 kW. Pada saat mode tidak linier, sumber arus adalah dengan cara arah keluaran sumber arus, searah dengan arah arus sumber ke beban sehingga seolah sumber arus adalah beban yang menarik arus dari sumber secara berubah-ubah sesuai desain yang penulis buat 1.76 kW, 1.4 kW, dan 1 kW. Dengan demikian, memungkinkan kita bisa melihat perbedaan harmonisa yang dihasilkan.

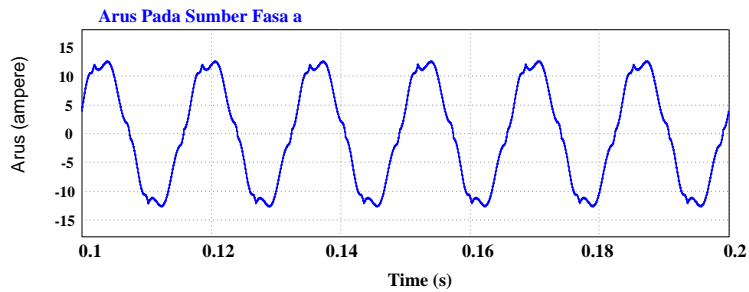
Arus pada sumber maupun arus pada beban mengalami distorsi arus akibat dari aktifitas *switching* beban tidak seimbang. Harmonisa tersebut mengganggu gelombang utama atau gelombang dengan frekuensi fundamental sebesar 60 Hz. Harmonisa menyebabkan gelombang fundamental menjadi tidak sinus murni melainkan menjadi gelombang sinus yang berbentuk lain atau cacat. Berikut adalah bentuk gelombang arus sumber yang terdistorsi oleh harmonisa:



(a)

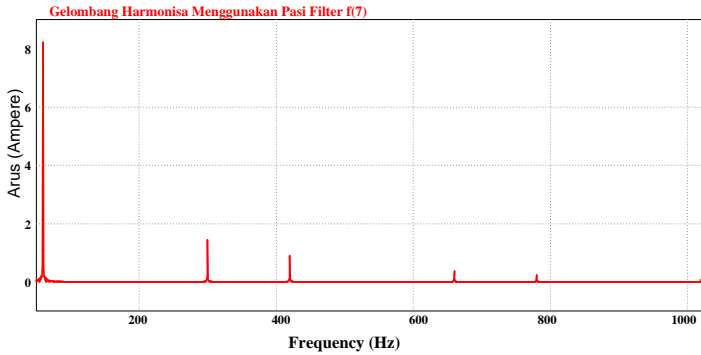


(b)



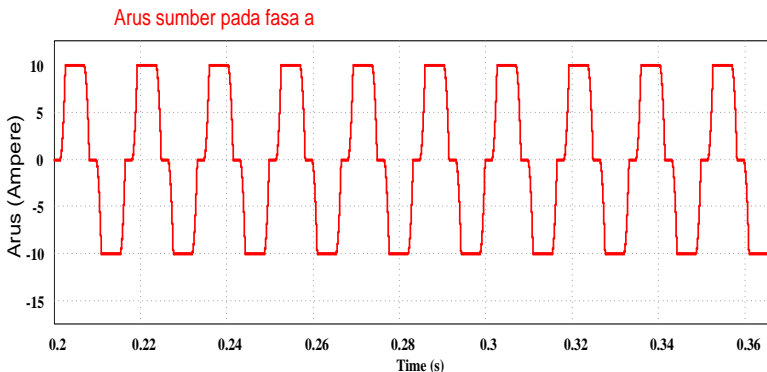
(c)

Gambar 3. 6 Bentuk Gelombang Arus, Sumber Yang Terdistorsi Oleh Harmonisa Dengan (a) Gelombang Tegangan di PCC (b) Gelombang Arus di Beban (c) Gelombang Arus di Sumber



Gambar 3. 7 Spektrum Arus Sumber Tanpa Filter

Harmonisa yang dihasilkan dari pengoperasian beban konstan adalah sebesar 100 % pada semua mode pada pemodelan ini. Namun pada saat beban tidak konstan, nilai harmonisa lebih dari 103%. Masing – masing frekuensi harmonik tersebut disebut sebagai dengan *Individual Harmonic Distortion* (IHD). Berikut adalah data orde, frekuensi, dan *magnitude* masing – masing frekuensi harmonik dengan parameter yang sudah di tentukan.



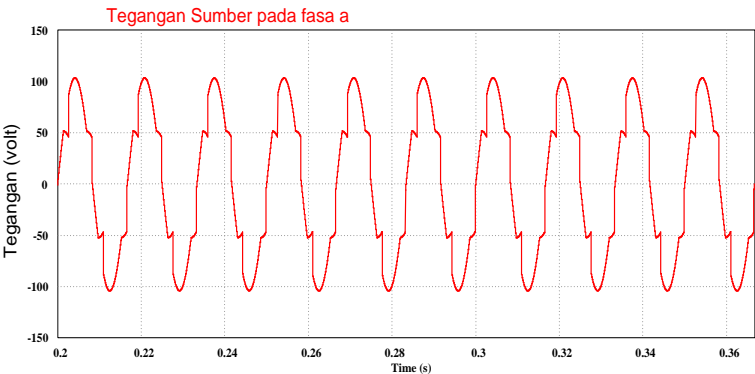
Gambar 3. 8 Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Konstan

Tabel 3. 1 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Dengan Beban Konstan

Orde	Frekuensi (Hz)	Magnitude (%)	Perhitungan
5	300	17.21	$\frac{1.332}{7.742} \times 100 \%$
7	420	10.49	$\frac{0.812}{7.742} \times 100 \%$
11	660	4.11	$\frac{0.318}{7.742} \times 100 \%$
13	780	2.53	$\frac{0.196}{7.742} \times 100 \%$
17	1020	1.27	$\frac{0.098}{7.742} \times 100 \%$

$$THD\ I=\frac{\sqrt{I_0^2-I_1^2}}{I_1} = THD\ I=\frac{\sqrt{7.915^2-7.742^2}}{7.742} = 21.25\%$$

Dari gambar 3.8 kita ketahui bahwa gelombang arus pada sumber dan pada beban sama karena tanpa filter dan THD di 21.25 %.



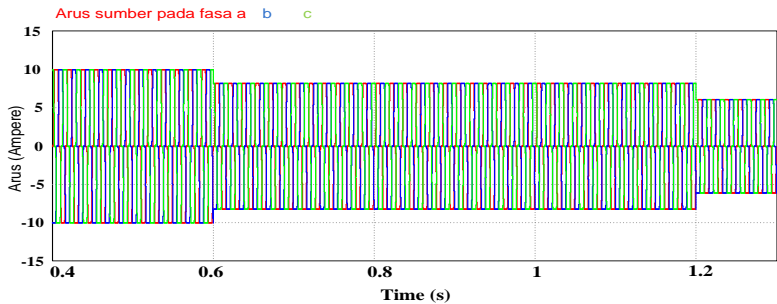
Gambar 3. 9 Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Konstan

Tabel 3. 2 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Dengan Beban Konstan

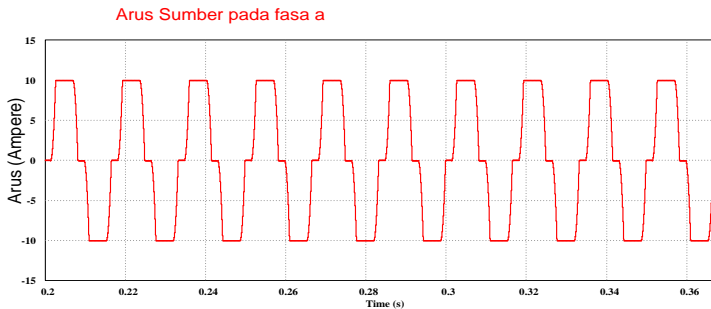
Orde	Frekuensi (Hz)	Magnitude (%)	Perhitungan
5	300	9.12	$\frac{6.507}{71.342} \times 100 \%$
7	420	7.79	$\frac{5.561}{71.342} \times 100 \%$
11	660	4.81	$\frac{3.436}{71.342} \times 100 \%$
13	780	3.51	$\frac{2.506}{71.342} \times 100 \%$
17	1020	2.30	$\frac{1.645}{71.342} \times 100 \%$

$$THD\ V=\frac{\sqrt{I_0^2-I_1^2}}{I_1}= \quad THD\ V=\frac{\sqrt{72.139^2-71.342^2}}{72.342}=14.98\%$$

Gambar 3.9 menunjukkan bentuk gelombang tegangan tanpa filter sangat jelek itu di karenakan banyaknya harmonisa yang terdapat pada gelombang tersebut, THD di angka 14.98%. Selanjutnya di tampilkan dengan beban berubah-ubah.



Gambar 3. 10 Gelombang Arus Pada Sumber Fasa a,b,c Tanpa Filter Beban Berubah Dengan Tiga Kondisi



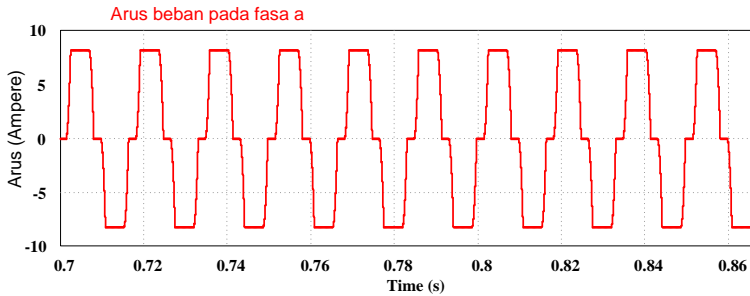
Gambar 3. 11 Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban pertama

Tabel 3. 3 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	17.06	$\frac{1.320}{7.735} \times 100 \%$
7	420	10.13	$\frac{0.784}{7.735} \times 100 \%$
11	660	3.88	$\frac{0.300}{7.735} \times 100 \%$
13	780	2.27	$\frac{0.176}{7.735} \times 100 \%$
17	1020	1.08	$\frac{0.084}{7.735} \times 100 \%$

$$\text{THDI} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THDI} = \frac{\sqrt{7.907^2 - 7.735^2}}{7.735} = 21.20\%$$

Dari gambar 3.11 kita ketahui bahwa gelombang arus pada sumber dan pada beban sama karena tanpa filter. Dengan kondisi beban pertama THD di 21.20 %.



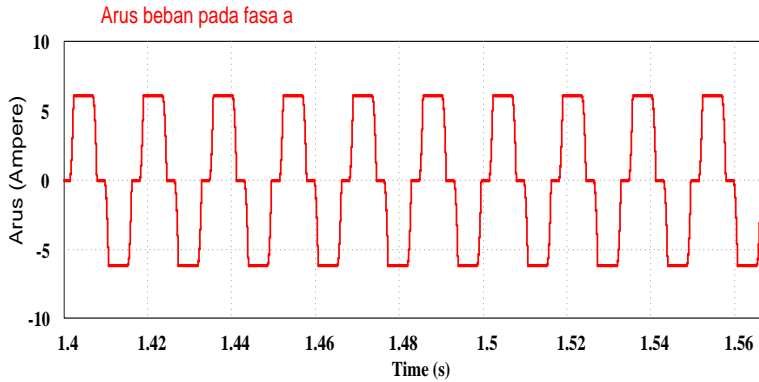
Gambar 3. 12 Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban kedua

Tabel 3. 4 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Kedua

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	17.55	$\frac{1.114}{6.349} \times 100 \%$
7	420	10.74	$\frac{0.682}{6.349} \times 100 \%$
11	660	4.51	$\frac{0.286}{6.349} \times 100 \%$
13	780	2.76	$\frac{0.175}{6.349} \times 100 \%$
17	1020	1.21	$\frac{0.077}{6.349} \times 100 \%$

$$\text{THDI} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THDI} = \frac{\sqrt{6.503^2 - 6.349^2}}{6.349} = 22.15\%$$

Dari gambar 3.12 kita ketahui bahwa gelombang arus pada sumber dan pada beban sama karena tanpa filter. Dengan kondisi beban kedua THD di 21.15 %.



Gambar 3. 13 Gelombang Arus Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban ketiga

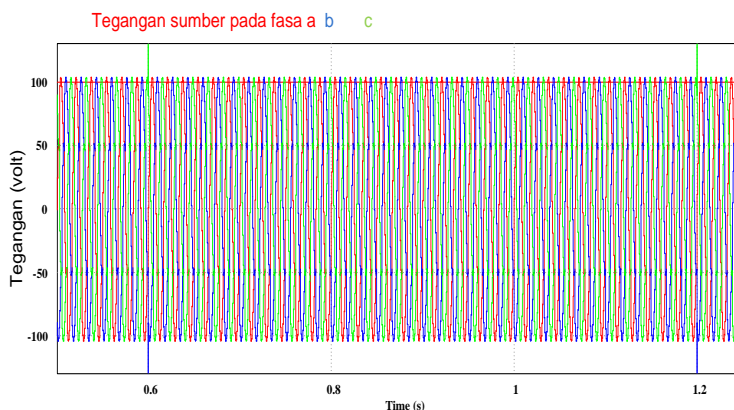
Tabel 3. 5 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Ketiga

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	18.12	$\frac{0.857}{4.729} \times 100 \%$
7	420	11.46	$\frac{0.542}{4.729} \times 100 \%$
11	660	5.35	$\frac{0.253}{4.729} \times 100 \%$
13	780	3.51	$\frac{0.166}{4.729} \times 100 \%$
17	1020	1.61	$\frac{0.076}{4.729} \times 100 \%$

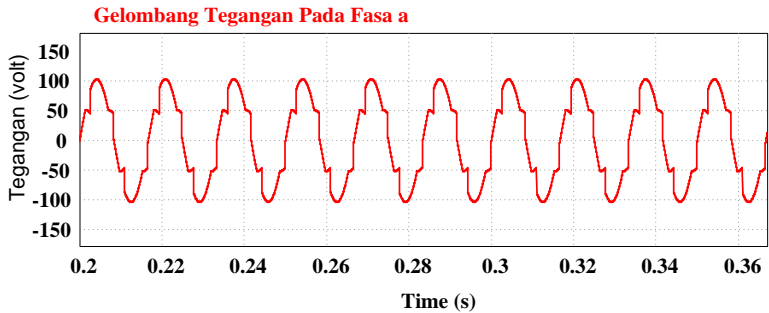
$$\text{THD I} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THD I} = \frac{\sqrt{4.857^2 - 4.729^2}}{4.729} = 23.42\%$$

Dari gambar 3.13 kita ketahui bahwa gelombang arus pada sumber dan pada beban sama karena tanpa filter. Dengan kondisi beban ketiga THD di 23.42 %. Kondisi beban pertama 21.20% kondisi beban kedua 21.15% dan kondisi beban ketiga 23.42%. Menunjukkan beban semakin mengecil THD I semakin membesar. Gelombang ditampilkan penulis hanya gelombang pada fasa a karena dengan menampilkan fasa a dapat mempresentasikan bentuk gelombang lainnya yang berbeda hanya pada sisi sudut penyalan tiga fasa yang berbeda 120°.

Setelah mengetahui bentuk gelombang arus penulis akan menunjukkan bentuk gelombang tegangan sebelum adanya filter dengan tiga kondisi sesuai parameter sub bab 4.1 tujuannya agar bisa mengetahui perbedaan tegangan saat kondisi beban berubah dan perbandingannya dengan kondisi tanpa filter maupun dengan pemfilteran:



Gambar 3. 14 Gelombang Tegangan Pada Tanpa Filter Beban Berubah Dengan Tiga Kondisi



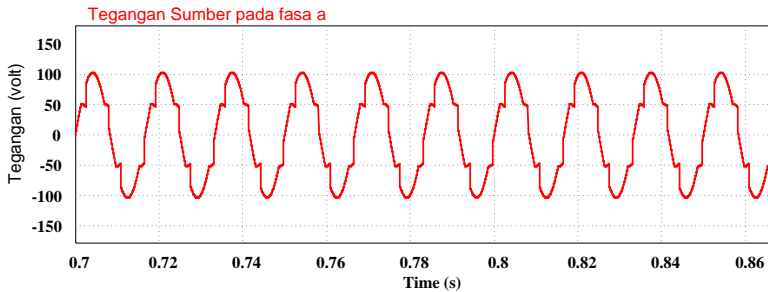
Gambar 3. 15 Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban pertama

Tabel 3. 6 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude (%)</i>	Perhitungan
5	300	8.96	$\frac{9.036}{71.249} \times 100 \%$
7	420	7.48	$\frac{5.329}{71.249} \times 100 \%$
11	660	4.54	$\frac{3.235}{71.249} \times 100 \%$
13	780	3.12	$\frac{2.229}{71.249} \times 100 \%$
17	1020	1.97	$\frac{1.409}{71.249} \times 100 \%$

$$\text{THD V} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD V} = \frac{\sqrt{72.075^2 - 71.249^2}}{71.249} = 15.87\%$$

Dari gambar 3.15 kita ketahui bahwa gelombang tegangan sumber (L-N) dengan kondisi beban pertama THD di 15.87 %.



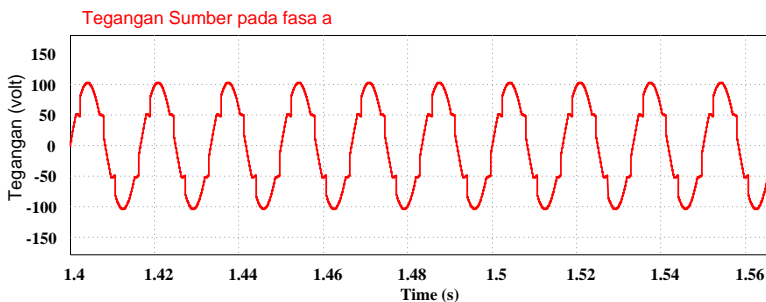
Gambar 3. 16 Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban kedua

Tabel 3. 7 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Kedua

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	7.51	$\frac{5.387}{71.726} \times 100 \%$
7	420	6.45	$\frac{4.626}{71.726} \times 100 \%$
11	660	4.31	$\frac{3.091}{71.726} \times 100 \%$
13	780	3.11	$\frac{2.236}{71.726} \times 100 \%$
17	1020	1.80	$\frac{1.296}{71.726} \times 100 \%$

$$\text{THD } V = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD } V = \frac{\sqrt{72.375^2 - 71.726^2}}{71.726} = 13.48\%$$

Dari gambar 3.16 kita ketahui bahwa gelombang tegangan sumber (L-N) dengan kondisi beban kedua THD di 13.48 %.



Gambar 3. 17 Gelombang Tegangan Pada Fasa a Tanpa Filter Beban Berubah-Ubah Kondisi Beban Ketiga

Tabel 3. 8 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Dengan Beban Berubah-Ubah Kondisi Ketiga

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude (%)</i>	Perhitungan
5	300	5.73	$\frac{4.143}{72.232} \times 100 \%$
7	420	5.08	$\frac{3.676}{72.232} \times 100 \%$
11	660	3.80	$\frac{2.745}{72.232} \times 100 \%$
13	780	2.03	$\frac{2.192}{72.232} \times 100 \%$
17	1020	1.76	$\frac{1.275}{72.232} \times 100 \%$

$$\text{THD V} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD V} = \frac{\sqrt{72.688^2 - 72.232^2}}{72.232} = 11.25\%$$

Dari gambar 3.17 kita ketahui bahwa gelombang tegangan sumber (L-N) dengan beban ketiga THD di 11.25 %. Kondisi beban pertama 15.87 % kondisi beban kedua 15.48% dan kondisi beban ketiga 11.25%.

Menunjukkan beban semakin mengecil THD V semakin mengecil berbanding terbalik dengan THD I.

Magnitude masing – masing IHD di atas dituliskan dalam bentuk persentase terhadap arus fundamental dimana persentase *magnitude* arus fundamental adalah 100%. Dengan data THD diatas, maka dengan melihat data tersebut penulis merancang filter pasif sebagai berikut:

$$X_L=X_c(3.1)$$

$$\omega_L = \omega_c.....(3.2)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fL}.....(3.3)$$

$$L=\frac{1}{2\pi^2 f^2 C}(3.4)$$

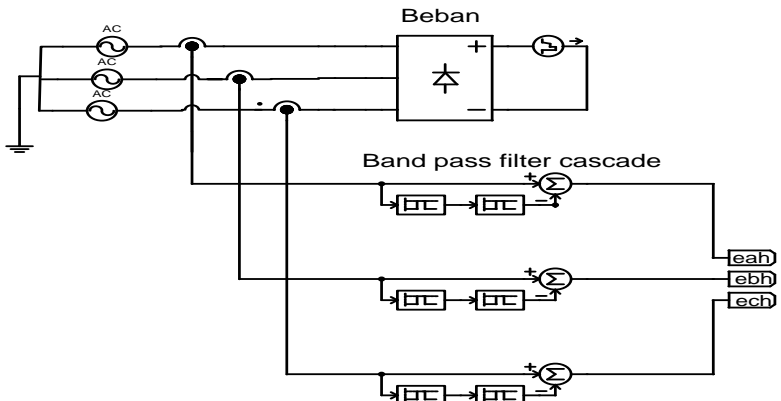
asumsi C= 150μF

$$L=\frac{1}{2x3.14^2 420^2 x150x10^{-6}} = 9.5827x 10^{-4}= 1 \text{ mH}$$

Disini penulis mengambil harmonisa ke tujuh, dikarenakan menyesuaikan dengan data di paper acuan penulis. [12]

3.3. Desain Harmonic Loop

Dalam membuat tegangan harmonik dengan cara mengambil arus di beban yang di filter band pass *cascade*, fungsi dari cascade sendiri memperhalus hasil Karena hasil filter yang masih sisa menjadi jauh lebih baik.Hasil dari band pass ini menjadi tegangan harmonik (eah, ebh, ech) untuk lebih jelasnya penulis menampilkan gambar sebagai berikut:



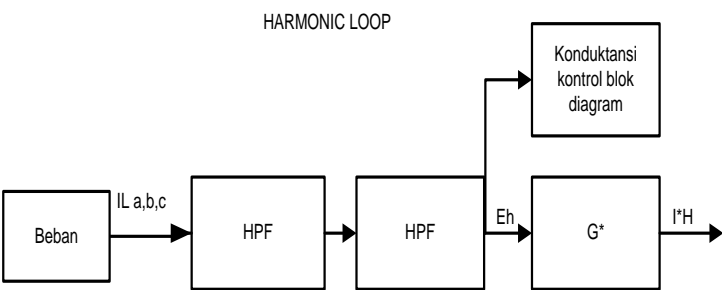
Gambar 3. 18 Proses Menghasilkan Tegangan Harmonic

Untuk mengurangi resonansi harmonisa, *Hybrid Active Filter Unit (AFU)* digunakan sebagai konduktansi variabel pada frekuensi harmonisa sebagai berikut [12]

$$i_h^* = G^* \times e_h \dots\dots\dots(3.6)$$

i_h^* = Pengaturan arus harmonisa
 G^* = Variable untuk menyediakan redaman pada semua frekuensi-frekuensi harmonisa.
 e_h = Nilai yang didapatkan dari transformasi SRF [11]

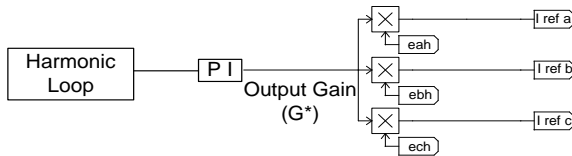
Komponen tegangan harmonisa (e_h) digunakan untuk menentukan frekuensi fundamental dari sistem [17]. Didalam SRF, komponen fundamental berubah menjadi tegangan DC, tetapi untuk komponen yang lain masih berupa tegangan AC. Oleh karena itu, komponen tegangan harmonisa ($e_{qd,h}^e$) dapat diubah menjadi e_{qd}^e dengan menggunakan High Pass Filter (HPF). Setelah di ubah kembali ke sistem 3 fasa, pengaturan arus harmonisa i_h^* didapatkan dari perkalian antara G^h dan e_h .



Gambar 3. 19 skema harmonic loop

3.4. Desain Fundamental Loop

Karena filter pasif bersifat kapasitif pada frekuensi fundamental, filter pasif mengambil arus leading fundamental dari jaringan.

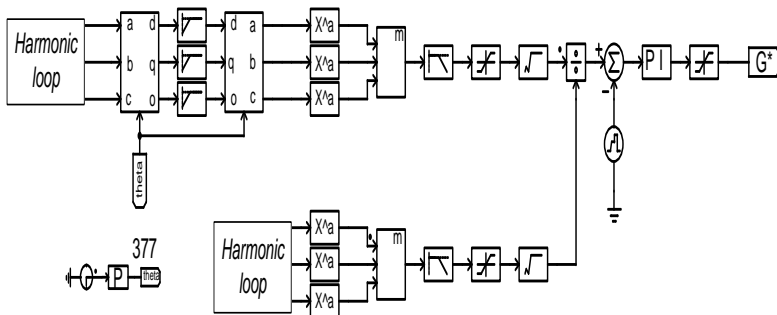


Gambar 3. 20 Diagram Block Fundamental Loop

Fundamental loop penulis desain langsung mengambil dari harmonic loop, Yang di bandingkan dengan keluaran gelombang *gain* yang nanti outputnya Irefrensi diolah untuk menjadi masukan konduktansi control VSI.

3.5. Desain Konduktansi Kontrol Blok Diagram

Blok diagram control konduktansi pada gambar 3.21 menunjukkan tujuan dari pengaturan konduktansi. Pengaturan konduktansi harmonisa (G^*) ditentukan berdasarkan tegangan THD pada titik pemasangan APF. Tegangan THD dihitung dengan perkiraan pengaturan yang ditunjukkan pada gambar Blok diagram control konduktansi. Disini, *Low Pass Filter* (LPF) dengan frekuensi *cutoff* 10Hz digunakan untuk menyaring komponen-komponen ripple [14][15].



Gambar 3. 21 Blok Diagram Control Konduktansi

Telah diketahui blok diagram di atas menunjukkan kesalahan antara THD^* yang diperbolehkan dan THD yang dihitung kemudian dimasukkan ke pengontrol PI untuk mendapatkan perintah konduktansi harmonisa G^* . Penyimpangan yang diperkenankan untuk batas harmonisa yang diperbolehkan merujuk pada IEEE std.519-1992 [16]. Untuk diingat, parameter PI perlu diubah untuk respon dan kestabilan yang diinginkan. Sebagai contoh, nilai Propotional dapat diubah berdasarkan pola transien, dan nilai Integral dapat diatur guna menahan error saat steady-state. Bandwidth seharusnya lebih rendah dari 1/10 dari frekuensi cutoff untuk menjaga kesetabilan operasi. Pada penelitian ini, *AFU* dapat digunakan untuk mengatur G^* secara dinamis guna menahan distorsi harmonisa pada level yang diperbolehkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil simulasi dan analisis harmonisa data dari mulai beban saja, melihat hasil harmonisa setelah di filter pasif, melihat hasil harmonisa dengan Aktif Filter Unit saja, melihat hasil harm dan melihat apakah konduktansi variable mengikuti perubahan yang ada baik berubah beban ataupun perubahan *gain* refrensi yang terhubung pada jaringan listrik tiga fasa tegangan rendah *line to line* (127V) dengan frekuensi 60 Hz. Arus refrensi dikontrol agar menghasilkan daya konstan. Berikut adalah simulasi pengujian yang dilakukan pada sistem penulis:

1. Pengujian sistem hanya menggunakan pasif filter pada keadaan Beban konstan dan beban berubah-ubah.
2. Pengujian sistem menggunakan pasif filter, Akti Filter Unit (AFU) dan *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)* pada keadaan beban konstan dan beban berubah-ubah.

Pada simulasi ini beban tidak linier konstan 1,76 KW, dan Saat tiga beban berubah-ubah dengan kondisi waktu dengan daya 1.76KW, 1.45 KW, 1.04KW frekuensi 60 Hz serta tegangan dc link referensi yang diatur pada simulasi adalah 60 Volt.

4.1. Parameter Simulasi

Parameter yang digunakan untuk mengatur dari sumber daya beban, besar nilai pasif filter, control PI, untuk mengatur pada sisi LPF dan HPF sehingga akan selalu sama dengan tegangan referensi yang diinginkan

Tabel 4.1 Parameter Simulasi

<i>Power system</i>	220V (L-L)60 hz
Beban Tidak Linear	NL1=1,76KW, NL2=1,45KW, NL3=1,06 KW
Filter Pasif	Lf= 1.0 mH, C= 150 μ F
Kontrol Tegangan DC	Kp=1 A/V, Ki= 100 A/(V.s), V*dc=50V
Kontrol <i>Tuning</i>	fHp=100hz, fLp=10hz

Adapun parameter untuk mengatur pada sisi sumber yang akan mengalir sisi beban sebagai berikut :

Tabel 4.2 *Parameter Value*

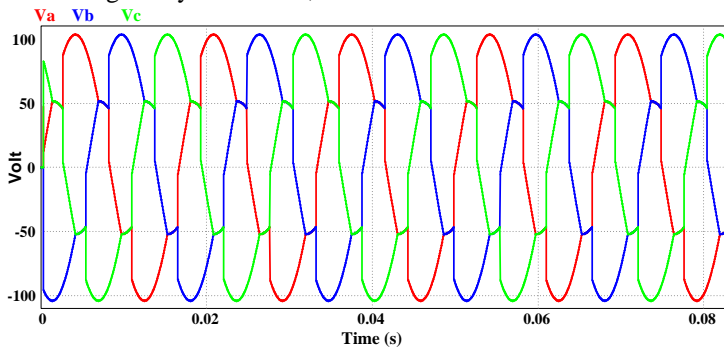
Voltage	220 V
Impedansi Sumber	2.6 mH

4.2. Simulasi Menggunakan Filter Pasif

Setelah diketahui besar harmonisa pada bab 3 dan perhitungannya maka setelah menjalankan program dengan beban yang telah di tentukan dengan filter pasif bernilai Inductor 1.0 mH dan Kapasitor sebesar 150 μf dengan menngurangi harmonisa pada frekuensi ke 7 sesuai acuan paper [12].

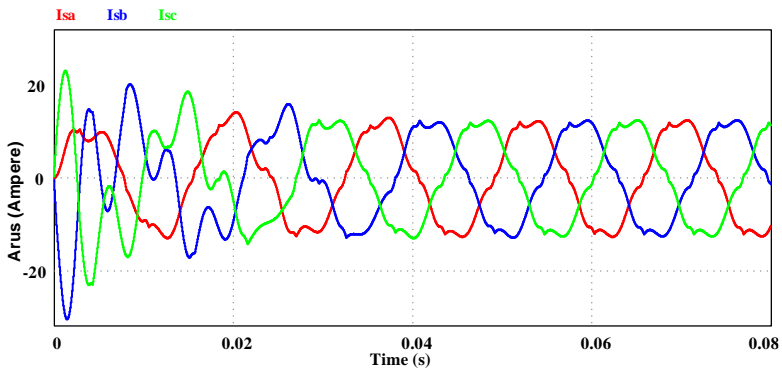
4.3.1. Simulasi Menggunakan Filter Pasif Dengan Menggunakan Beban Konstan

Dengan parameter filter pasif di atas penulis menggunakan beban konstan dengan daya sebesar 1,76 KW. Maka :



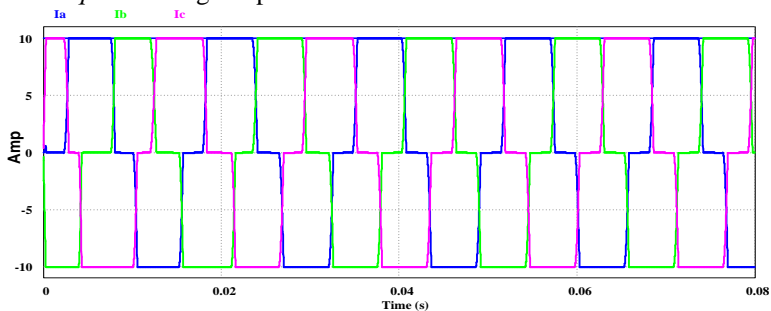
Gambar 4.1 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter

Dengan melihat gambar 4.1 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1.



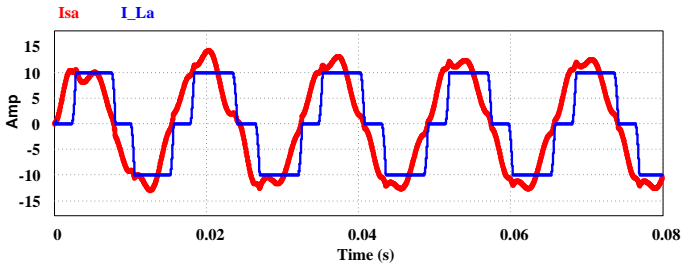
Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Arus Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter

Dari gambar 4.2 penulis dapat melihat arus di sumber (I_s) arus disumber sudah cukup membaik di bandingan tanpa adanya filter Karena apabila tanpa adanya filter maka tegangan sumber (I_s) sama Arus di beban (I_L).rusak karena beban yang digunakan adalah beban tidak linear dan pada aplikasi software penulis langsung menggunakan gelombang kotak/*square* sebagai inputan beban tidak linear.



Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Arus di Beban Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter

Dari gambar 4.3 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linear penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas.



Gambar 4.4 Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus Beban dan Sumber Menggunakan Beban Konstan dan Menggunakan Pasif Filter

Dari gambar di atas penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban, penulis hanya mengambil satu fasa saja karena sudah bisa mempresentasikan fasa lainnya yang berbeda pada sudutnya 120° juga tampilannya lebih jelas. Dan menunjukkan filter pasif berfungsi meskipun gelombang masih ada cacat.

Setelah pemasangan Pasif filter dengan parameter di atas, maka didapatkan penulis mendapatkan data IHD sebagai berikut:

Tabel 4.3 *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Pada Beban Konstan Menggunakan Pasif Filter

Orde	Frekuensi (Hz)	Magnitude (%)	Perhitungan
5	300	8.68	$\frac{0.768}{8.85} \times 100 \%$
7	420	0.25	$\frac{0.022}{8.857} \times 100 \%$
11	660	1.31	$\frac{0.116}{8.857} \times 100 \%$
13	780	1.18	$\frac{0.105}{8.85} \times 100 \%$
17	1020	0.83	$\frac{0.074}{8.857} \times 100 \%$

$$\text{THD I} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THD I} = \frac{\sqrt{8.893^2 - 8.857^2}}{8.857} = 0.0902 = 9.02\%$$

Tabel 4.4 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Pada Beban Konstan Menggunakan Pasif Filter

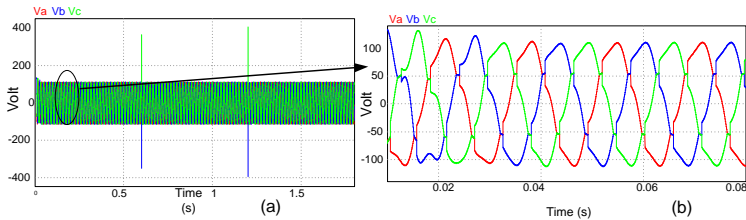
Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	4.88	$\frac{3.761}{77.010} \times 100 \%$
7	420	0.22	$\frac{0.169}{77.010} \times 100 \%$
11	660	1.61	$\frac{1.24}{77.010} \times 100 \%$
13	780	1.73	$\frac{1.33}{77.010} \times 100 \%$
17	1020	1.64	$\frac{1.26}{77.010} \times 100 \%$

$$\text{THD V} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD V} = \frac{\sqrt{77.18^2 - 77.010^2}}{77.010} = 0.0664 = 6.64\%$$

Saat pasif filter unit di aktifkan maka THD berhasil membaik ke angka 9.02% untuk THD I dan 6.64 untuk THD V di bandingkan tanpa menggunakan filter dan membuktikan filter pasif berfungsi, dengan penulis menampilkan gambar arus pada sumber.

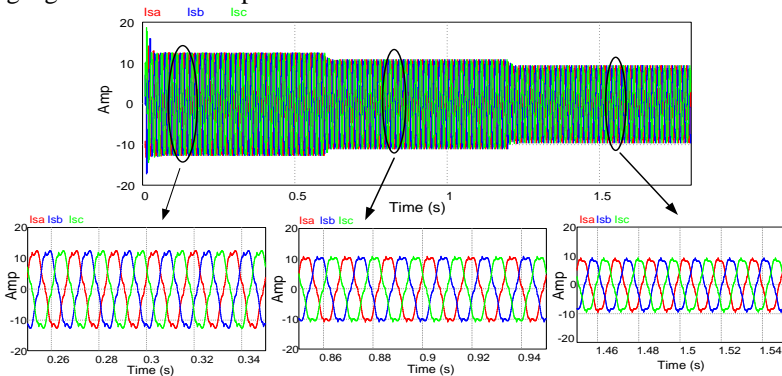
4.3.2. Simulasi Menggunakan Filter Pasif Dengan Menggunakan Beban Berubah

Dengan parameter filter pasif pada 4.1 dan dengan menggunakan beban berubah-ubah sesuai dengan parameter pada waktu 0-0.6s, 0.6-1.2s, 1.2-99s dengan daya sebesar 1.76 KW, 1.45KW, 1.06KW.



Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Menggunakan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter

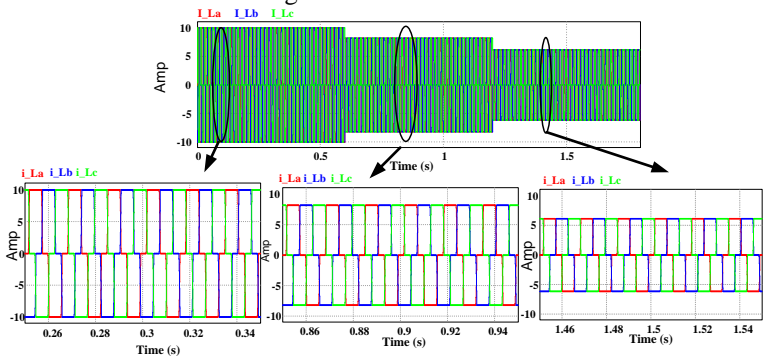
Dengan melihat gambar 4.5 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1. Meskipun beban berubah-ubah, tegangan di sumber tetap konstan sinus.



Gambar 4.6 Bentuk Gelombang Arus di Sumber Dengan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter

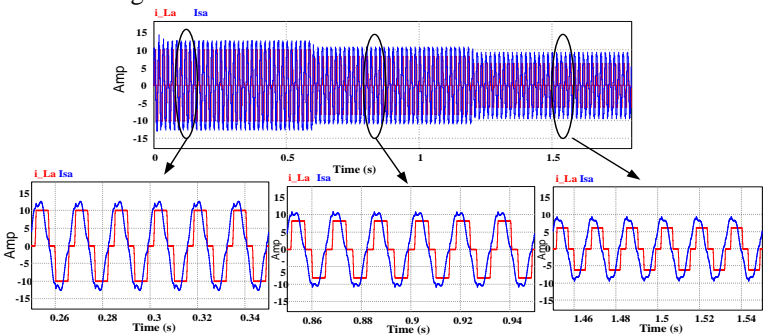
Dari gambar 4.6 penulis dapat melihat arus di sumber (IS) arus disumber sudah cukup membaik di bandingan tanpa adanya filter Karena apabila tanpa adanya filter maka tegangan sumber (Is) sama Arus di beban (IL). Rusak gelombang karena beban yang digunakan adalah beban tidak linear dan pada aplikasi software penulis langsung menggunakan gelombang kotak/*square* sebagai masukan beban tidak linear. Dan perbedaan gelombang arus pada gambar 4.2, pada gambar 4.6 arus makin

mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linear semakin lama semakin mengecil.



Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Arus di Beban, Dengan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter

Dari gambar 4.7 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linear penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas. Dan perbedaan gelombang arus pada gambar 4.3, pada gambar 4.7 arus makin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linear semakin lama semakin mengecil.



Gambar 4.8 Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber, Dengan Beban Berubah dan Menggunakan Pasif Filter

Dari gambar 4.8 penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban dan kebetulan yang di ambil hanya salah satu fasa saja yang bertujuan agar tampilannya lebih jelas. Dan menunjukan filter pasif berfungsi meskipun gelombang masih ada cacat dan perbedaan gelombang arus pada gambar 4.4, pada gambar 4.8 arus makin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linier semakin lama semakin mengecil.

Setelah pemasangan Pasif filter dengan parameter yang telah di tentukan pada sub bab 4.1, maka didapatkan data IHD sebagai berikut:

Tabel 4.5 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Pada Beban Berubah Menggunakan Pasif Filter Kondisi Beban Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude (%)</i>	Perhitungan
5	300	8.67	$\frac{0.768}{8.857} \times 100 \%$
7	420	0.27	$\frac{0.0239}{8.857} \times 100 \%$
11	660	1.31	$\frac{0.116}{8.857} \times 100 \%$
13	780	1.18	$\frac{0.104}{8.857} \times 100 \%$
17	1020	0.85	$\frac{0.075}{8.857} \times 100 \%$

$$THDI = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = THDI = \frac{\sqrt{8.894^2 - 8.857^2}}{8.857} = 0.0915 = 9.15\%$$

Tabel 4.6 *Individual Harmonic Distortion (IHD) Tegangan Pada Beban Berubah Menggunakan Pasif Filter Kondisi Beban Pertama*

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	4.89	$\frac{3.770}{76.999} \times 100 \%$
7	420	0.21	$\frac{0.166}{76.999} \times 100 \%$
11	660	1.63	$\frac{1.252}{76.999} \times 100 \%$
13	780	1.73	$\frac{1.332}{76.999} \times 100 \%$
17	1020	1.64	$\frac{1.261}{76.999} \times 100 \%$

$$THDV = \frac{\sqrt{v_0^2 - v_1^2}}{v_1} = THDV = \frac{\sqrt{77,174^2 - 76,999^2}}{76,999} = 0.0675 = 6.75\%$$

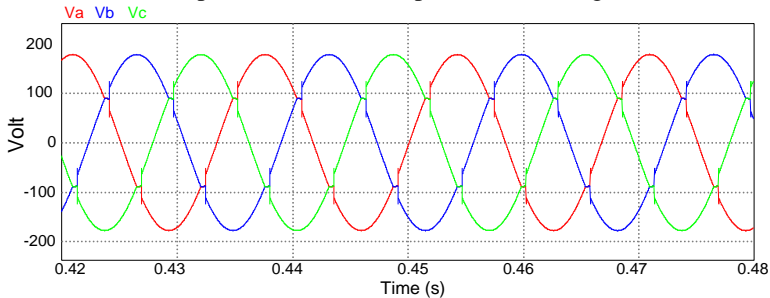
Saat pasif filter unit di aktifkan maka THD berhasil membaik ke angka 9.15% Untuk THD I dan 6,75 Untuk THD V ada kenaikan di bandingkan beban konstan 0.13% dan 0.11 %.Dikarenakan adanya perubahan beban, hasil THD ini lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan filter dan membuktikan filter pasif berfungsi, dengan penulis menampilkan gambar arus pada sumber.

4.3. Simulasi Dengan Hybrid Active Filter Unit (Filter Pasif dan Filter Aktif)

Setelah diketahui bentuk gelombang yang dihasilkan dari pengaktifan pasi filter saja pada bahasan sub bab 4.2 kurang bagus hasilnya, maka penulis menambahkan aktif power filter unit dan menggabungkannya dengan pasif flter agar mendapatkan hasil yang sangat baik. Dengan bentuk desain dan blok diagram yang telah dibahas pada bab 3.

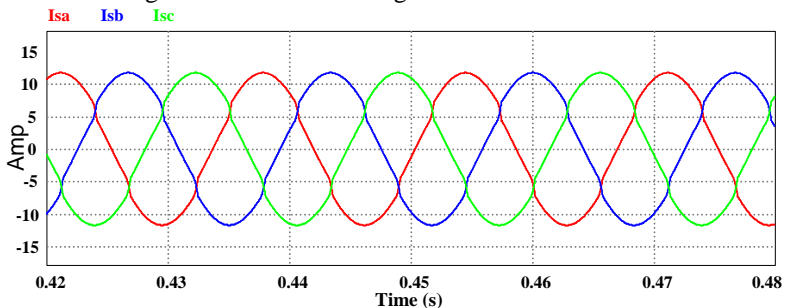
4.3.1. Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)* Dengan Menggunakan Beban Konstan Dengan THD *Command* Konstan

Dengan parameter yang sudah ditentukan pada sub bab 4.1 penulis menggunakan beban secara konstan daya sebesar 1,76 KW. Dan juga THD *command* set point 0.7 maka di dapatkan data sebagai berikut :



Gambar 4.9 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan *THD Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

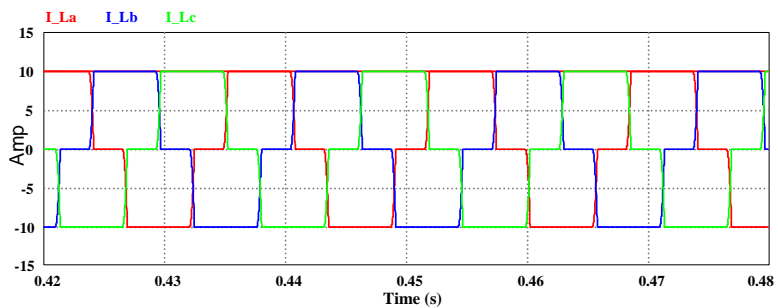
Dengan melihat gambar 4.9 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1 penulis mengambil waktu start pada 0.42s karena gain baru konstan di angka 0.24s.



Gambar 4.10 Bentuk Gelombang Arus di Sumber, Dengan Beban Konstan dan *THD Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

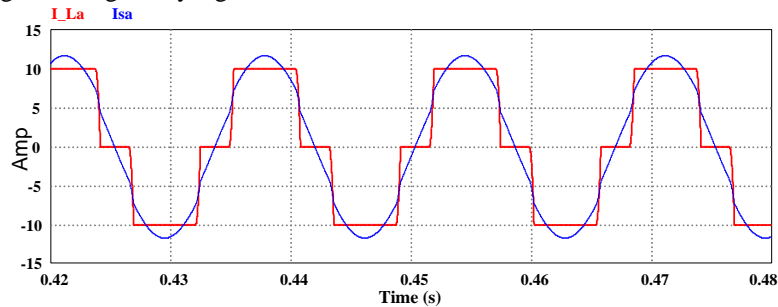
Dari gambar 4.10 penulis dapat melihat arus di sumber (IS) bentuk gelombang arus disumber sangat membaik di bandingan hanya filter pasif

bahkan mendekati sinus murni .apabila kita bandingkan gambar 4.6, dan gambar 4.10 terjadi perbedaan yang cukup jauh.



Gambar 4.11 Bentuk Gelombang Arus di Beban, Dengan Beban Konstan dan *THD Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

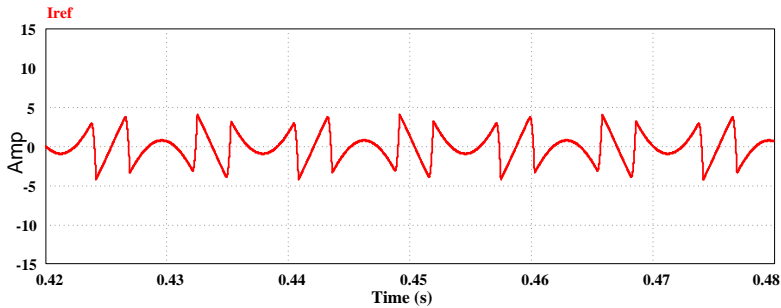
Dari gambar 4.11 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linier penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas



Gambar 4.12 Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber, Dengan Beban Konstan dan *THD Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

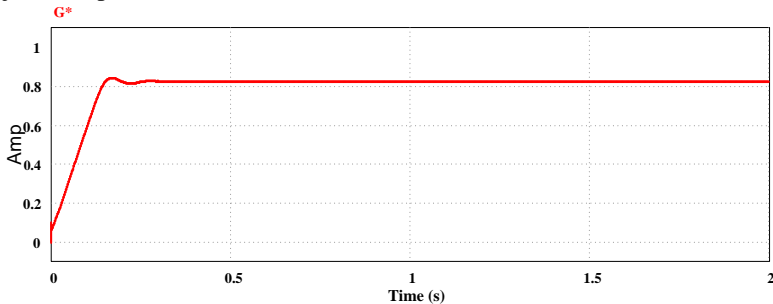
Dari gambar 4.11 penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban dan kebetulan yang di ambil hanya salah satu fasa saja yang bertujuan agar tampilannya lebih jelas. Dan menunjukan *AFU* mampu memperbaiki harmonisa sehingga arus yang muncul di sumber sangat mendekati sinus murni. Menunjukan *HAFU*

berjalan dengan baik untuk mereduksi harmonisa dan memperbaiki arus di sumber.



Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Arus Refrensi, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.13 penulis mengetahui gelombang arus refrensi yang akan menjadi masukan CC-VSI, dimana fungsi CC-VSI telah di jelaskan pada bab 2.



Gambar 4.14 Bentuk Gelombang Keluaran *Gain*, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.14 penulis mengetahui desain variable konduktansi berfungsi dan tidak mengalami saturasi dan mengikuti pola sistem kerja beban yang kebetulan pada simulasi ini Tidak Linier (NL) konstan.

Setelah pemasangan *Hybrid Active Power Filter (AFU)*, dengan beban konstan dan THD command konstan penulis mendapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.7 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus Beban dan THD Command Konstan Kondisi *HAFU* Aktif

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	6.15	$\frac{0.500}{8.132} \times 100 \%$
7	420	4.24	$\frac{0.345}{8.132} \times 100 \%$
11	660	2.43	$\frac{0.198}{8.132} \times 100 \%$
13	780	1.90	$\frac{0.155}{8.132} \times 100 \%$
17	1020	1.19	$\frac{0.097}{8.132} \times 100 \%$

$$\text{THD I} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THD I} = \frac{\sqrt{8.147^2 - 8.132^2}}{8.132} = 6.076\%$$

Tabel 4.8 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Beban dan THD Command Konstan Kondisi *HAFU* Aktif

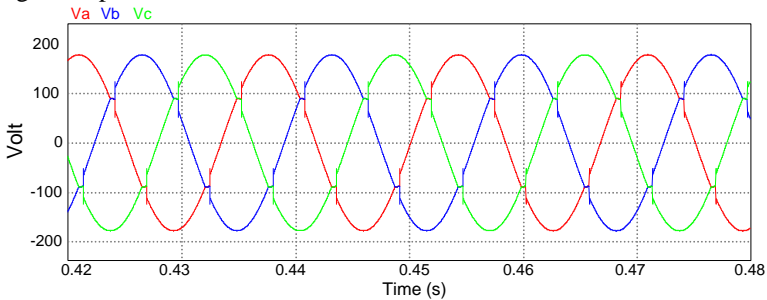
Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	3.38	$\frac{1.726}{71.982} \times 100 \%$
7	420	3.27	$\frac{1.673}{71.965} \times 100 \%$
11	660	2.93	$\frac{1.505}{71.965} \times 100 \%$
13	780	2.74	$\frac{1.401}{71.965} \times 100 \%$
17	1020	2.27	$\frac{1.153}{71.965} \times 100 \%$

$$\text{THD } V = \frac{\sqrt{v_0^2 - v_1^2}}{v_1} = \text{THD } V = \frac{\sqrt{72.087^2 - 71.965^2}}{71.965} = 5.825\%$$

Saat *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)* diaktifkan maka THD dengan adanya HAFU maka THD di 6.07% untuk THD I dan 5.82% Untuk THD V membaik 0.93% dan THD I 3.08%. Menunjukkan bahwa AFU berfungsi untuk mereduksi harmonisa dan konuktansi variable juga berjalan mengikuti desain beban penulis.

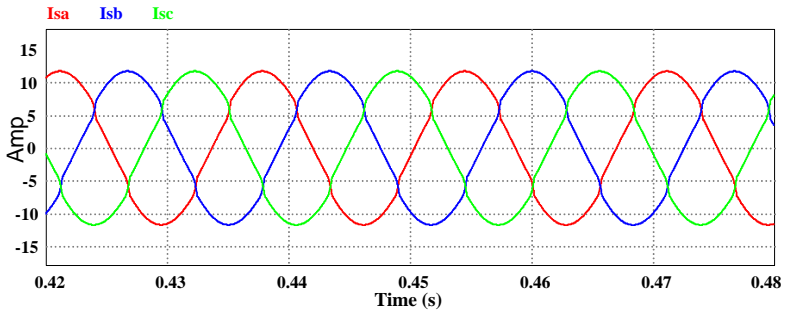
4.3.2. Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active Filter* Dengan Menggunakan Beban Konstan Dengan THD *Command* Berubah

Dengan parameter yang sudah ditentukan pada sub bab 4.1 penulis menggunakan beban konstan dengan daya sebesar 1,76 KW. Dengan THD *command* set point terbagai 6 waktu 0-0.6s, 0.6-1.2s, 1.2-99s dengan angka set point .85 .85 .7 .7 .593 .593



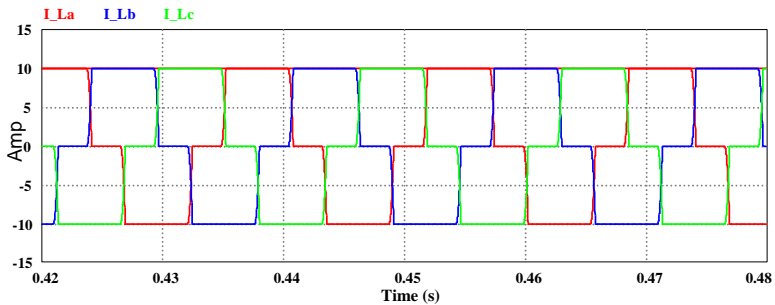
Gambar 4.15 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan HAFU

Dengan melihat gambar 4.15 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1.



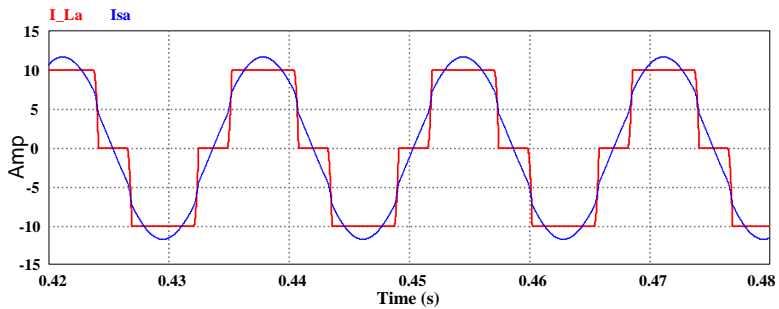
Gambar 4.16 Bentuk Gelombang Arus Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.16 penulis dapat melihat arus di sumber (IS) arus disumber sangat membaik di bandingan hanya filter pasif bahkan mendekati sinus murni .apabila kita bandingkan gambar 4.6, dan gambar 4.16 terjadi perbedaan yang cukup jauh.dan apabila dibandingkan dengan 4.10 sama meskipun THD *command* penulis atur berubah-ubah.



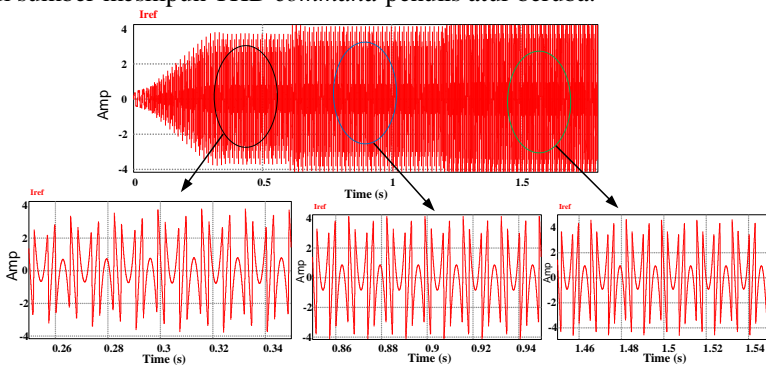
Gambar 4.17 Bentuk Gelombang Arus di Beban, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.17 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linier penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas.



Gambar 4.18 Bentuk Perbandingan Gelombang Arus di Beban dan di Sumber, Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

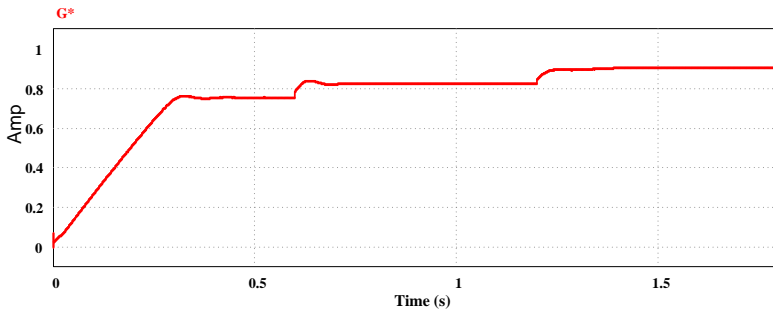
Dari gambar 4.18 penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban dan kebetulan yang di ambil hanya salah satu fasa saja yang bertujuan agar tampilannya lebih jelas. Dan menunjukan *HAFU* mampu memperbaiki harmonisa sehingga arus yang muncul di sumber sangat mendekati sinus murni. Menunjukan *HAFU* berjalan dengan baik untuk mereduksi harmonisa dan memperbaiki arus di sumber meskipun THD *command* penulis atur berubah.



Gambar 4.19 Bentuk Gelombang Arus Refrensi Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.19 penulis mengetahui gelombang arus refrensi yang akan menjadi masukan CC-VSI, dimana fungsi CC-VSI telah di

jelaskan pada bab 2. Dari gambar tersebut bentuk gelombang semakin membesar ini dikarenakan G^* juga semakin membesar dikarenakan penulis mengatur THD *command* semakin lama semakin mengecil.



Gambar 4.20 Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Beban Konstan dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.20 penulis mengetahui gelombang keluaran *gain* (G^*) menunjukan bahwa desain konduktansi variable berfungsi mengikuti pengaturan yang telah ditentukan oleh penulis. Setelah pemasangan *Hybrid Active Power Filter*, dengan beban konstan dan THD command berubah-ubah maka penulis mendapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9 *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Arus Beban Konstan dan THD Command Berubah Kondisi *HAFU* Aktif Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	6.85	$\frac{0.519}{8.117} \times 100 \%$
7	420	5.96	$\frac{0.484}{8.117} \times 100 \%$
11	660	3.22	$\frac{0.261}{8.117} \times 100 \%$
13	780	2.39	$\frac{0.194}{8.117} \times 100 \%$

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
17	1020	1.37	$\frac{0.111}{8.117} \times 100 \%$

$$\text{THDI} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THDI} = \frac{\sqrt{8.151^2 - 8.121^2}}{8.121} = 8.60 \%$$

Tabel 4.10 *Individual Harmonic Distortion* (IHD) Tegangan Beban Konstan dan THD command Berubah Kondisi *HAFU* aktif Kondisi Pertama

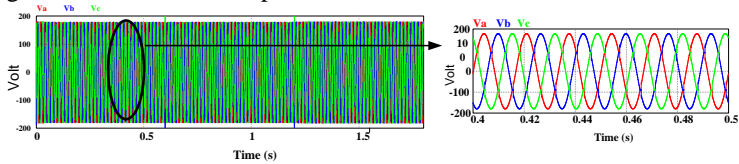
Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	8.85	$\frac{3.506}{71.804} \times 100 \%$
7	420	5.96	$\frac{3.309}{71.804} \times 100 \%$
11	660	3.22	$\frac{2.825}{71.804} \times 100 \%$
13	780	2.39	$\frac{2.483}{71.804} \times 100 \%$
17	1020	1.37	$\frac{1.866}{71.804} \times 100 \%$

$$\text{THD V} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD V} = \frac{\sqrt{72^2 - 71.804^2}}{71.804} = 7.393\%$$

Saat *hybrid* active filter unit di aktikan maka THD berada ke angka 8.60% THD I dan 7.39% untuk THD V lebih besar dari pada THD dengan THD *command* konstan dan menunjukan meskipun *gain command* berubah maka gelombang keluaran dari *gain* mengikutinya.

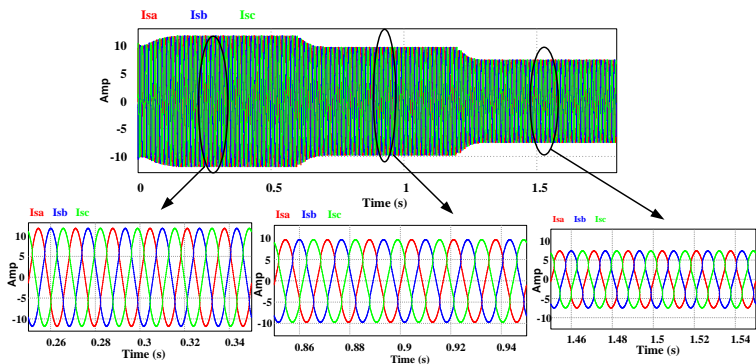
4.3.3. Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid Active Unit (HAFU)* Filter Dengan Menggunakan Beban Berubah Dengan THD *Command* Konstan

Dengan parameter yang sudah ditentukan pada sub bab 4.1 penulis menggunakan beban berubah-ubah dengan 6 kali waktu perubahan 0-0.6s, 0.6-1.2s, 1.2-99s dengan daya sebesar 1,76 KW, 1,45KW, 1.06KW. Dengan THD *command* set point 0.7



Gambar 4.21 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber, Dengan Beban Berubah dan *Command* THD Konstan Menggunakan *HAFU*

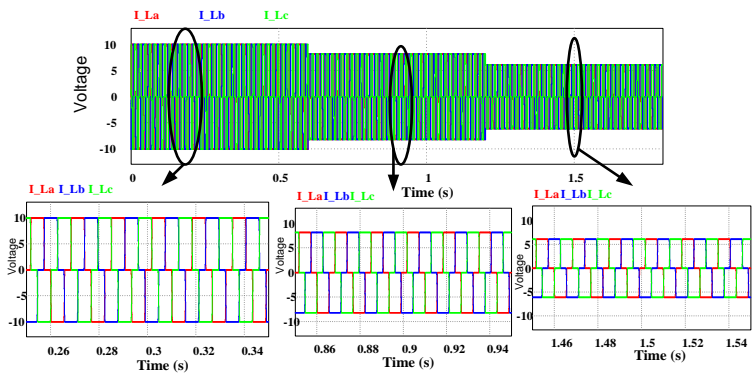
Dengan melihat gambar 4.21 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1.



Gambar 4.22 Bentuk Gelombang Arus di Sumber Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

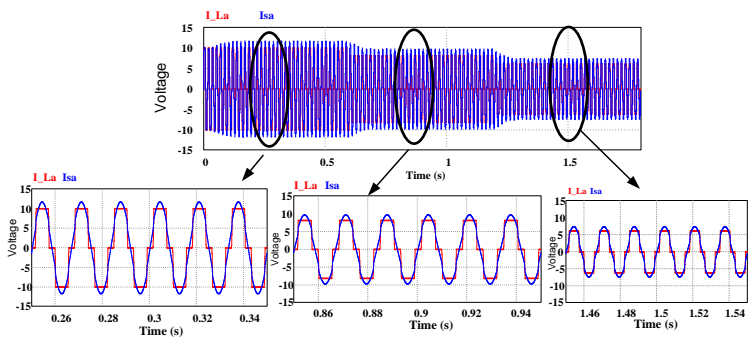
Dari gambar 4.22 penulis dapat melihat arus di sumber (IS) arus disumber sudah sangat bagus bahkan mendekati sinus murni. Bentuk

gelombang arus semakin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linier semakin lama semakin mengecil.



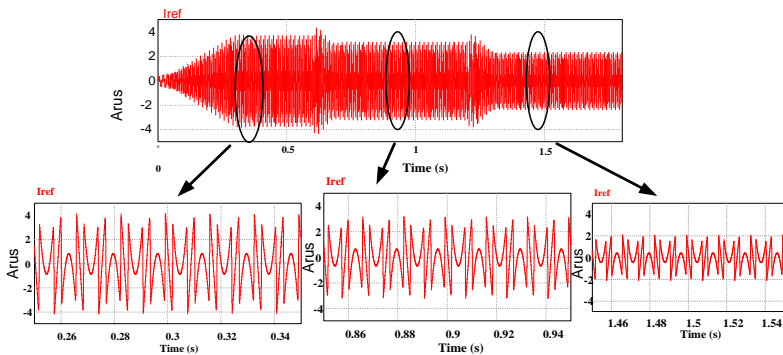
Gambar 4.23 Bentuk Gelombang Arus di Beban Dengan Beban Berubah dan THD Command Konstan Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.23 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linier penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas. Arus semakin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linier semakin lama semakin mengecil.



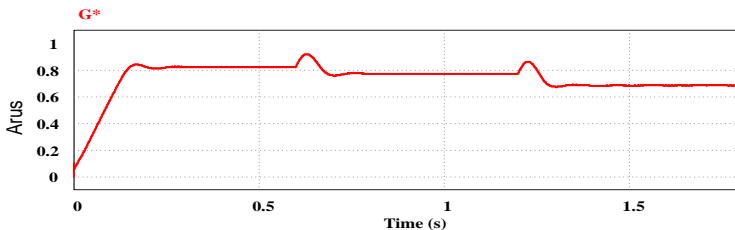
Gambar 4.24 Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber Dengan Beban Berubah dan THD Command Konstan Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.24 penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban dan kebetulan yang di ambil hanya salah satu fasa saja yang bertujuan agar tampilannya lebih jelas. Dan menunjukkan *HAFU* mampu memperbaiki harmonisa sehingga arus yang muncul di sumber sangat mendekati sinus murni. Menunjukkan *HAFU* berjalan dengan baik untuk mereduksi harmonisa dan memperbaiki arus di sumber meskipun beban diatur berubah-ubah oleh penulis.



Gambar 4.25 Bentuk Gelombang Arus refrensi Dengan Beban Berubah dan THD *command* konstan menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.25 penulis mengetahui gelombang arus refrensi yang akan menjadi masukan CC-VSI, dimana fungsi CC-VSI telah di jelaskan pada bab 2. Dari gambar tersebut bentuk gelombang semakin mengecil dikarenakan pengaturan beban yang telah ditentukan oleh penulis.



Gambar 4.26 Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Konstan Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.25 penulis mengetahui gelombang keluaran *gain* (G*) menunjukan bahwa desain konduktansi variable berfungsi mengikuti pengaturan yang telah ditentukan oleh penulis. Setelah pemasangan *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)*, dengan beban berubah-ubah dan THD *command* Konstan maka penulis mendapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.11 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus beban berubah dan THD Command Konstan Kondisi *HAFU* Aktif Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	4.31	$\frac{0.351}{8.131} \times 100 \%$
7	420	2.97	$\frac{0.242}{8.131} \times 100 \%$
11	660	1.70	$\frac{0.139}{8.131} \times 100 \%$
13	780	1.32	$\frac{0.108}{8.131} \times 100 \%$
17	1020	0.83	$\frac{0.068}{8.131} \times 100 \%$

$$\text{THD I} = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = \text{THD I} = \frac{\sqrt{8.146^2 - 8.131^2}}{8.131} = 0.060 = 6.07\%$$

Tabel 4.12 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan Beban Berubah dan THD Command Konstan Kondisi *HAFU* Aktif Kondisi Pertama

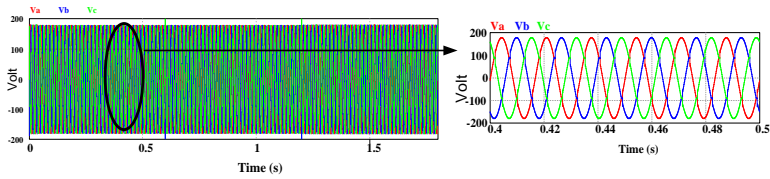
Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	2.37	$\frac{1.710}{71.966} \times 100 \%$
7	420	2.29	$\frac{1.654}{71.966} \times 100 \%$
11	660	2.18	$\frac{1.569}{71.966} \times 100 \%$
13	780	1.92	$\frac{1.383}{71.966} \times 100 \%$
17	1020	1.60	$\frac{1.153}{71.966} \times 100 \%$

$$\text{THDI} = \frac{\sqrt{V_0 - V_1^2}}{V_1} = \text{THDI} = \frac{\sqrt{72.087^2 - 71.966^2}}{71.966} = 0.058 = 5.80\%$$

Saat *hybrid* active filter unit di aktikan maka THD berada angka 6.07% THD I dan 5.80 % THD V, menunjukan bahwa saat ini yang berubah beban keluaran gelombang dari *gain* pun juga mengikuti.

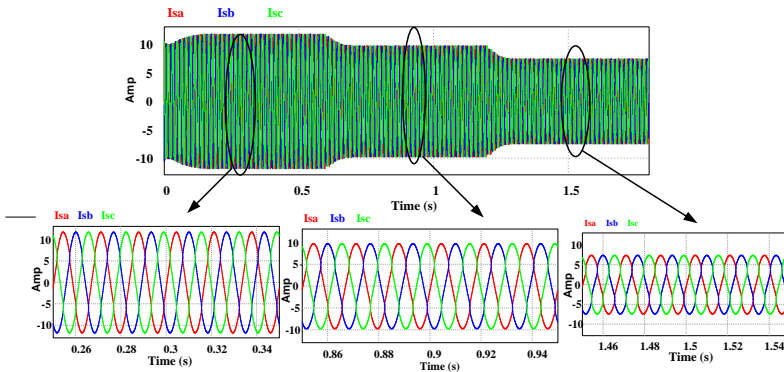
4.3.4. Simulasi Menggunakan Filter *Hybrid* Active filter Dengan Menggunakan Beban Berubah Dengan THD *Command* Berubah

Dengan parameter yang sudah ditentukan pada sub bab 4.1 penulis menggunakan beban berubah-ubah dengan 6 kali waktu perubahan 0-0.6s, 0.6-1.2s, 1.2-99s dengan daya sebesar 1,76 KW, 1,45KW, 1.06KW. Dengan THD *command* berubah-ubah dengan waktu 0-0.6s, 0.6-1.2s, 1.2-99s set point .9 .9 .75 .75 .57 .57



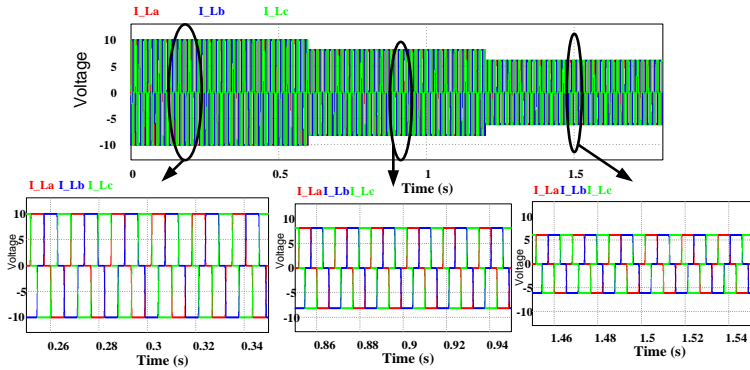
Gambar 4.27 Bentuk Gelombang Tegangan Sumber Beban Yang Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dengan melihat gambar 4.27 maka penulis mengetahui bahwa tegangan disumber sinus murni sesuai dengan parameter simulasi yang telah di tentukan pada sub bab 4.1.



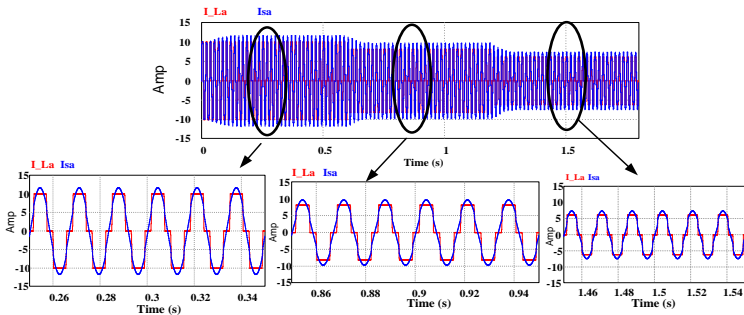
Gambar 4.28 Bentuk Gelombang Arus diSumber Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.28 penulis dapat melihat arus di sumber (IS) arus disumber sudah sangat bagus bahkan mendekati sinus murni. Bentuk gelombang arus semakin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linier semakin lama semakin mengecil.



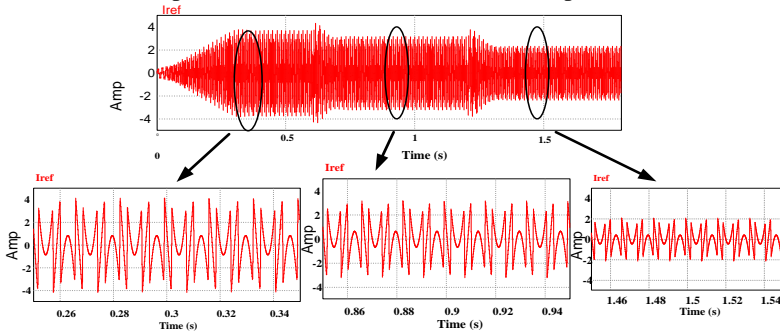
Gambar 4.29 Bentuk Gelombang Arus di Beban Sumber Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.29 penulis dapat mengetahui bentuk gelombang arus di beban. Bentuk gelombang arus kotak murni karena pada beban tidak linear penulis memasukan *piecewise Linear* maka bentuk gelombang arus yang di keluarkan oleh beban berbentuk di atas. Arus semakin mengecil karena penulis telah menentukan daya beban tidak linear semakin lama semakin mengecil.



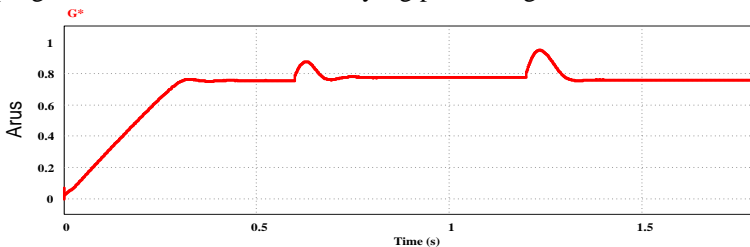
Gambar 4.30 Bentuk Perbandingan Antara Gelombang Arus di Beban dan di Sumber Dengan Sumber Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *Hybrid Filter*

Dari gambar 4.30 penulis dapat mengetahui perbandingan antara arus di sumber dan arus di beban dan kebetulan yang di ambil hanya salah satu fasa saja yang bertujuan agar tampilannya lebih jelas. Dan menunjukan *HAFU* mampu memperbaiki harmonisa sehingga arus yang muncul di sumber sangat mendekati sinus murni. Menunjukan *HAFU* berjalan dengan baik untuk mereduksi harmonisa dan memperbaiki arus di sumber meskipun beban diatur berubah-ubah oleh penulis.



Gambar 4.31 Bentuk Gelombang Arus Refrensi Sumber Dengan Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*.

Dari gambar 4.31 penulis mengetahui gelombang arus refrensi yang akan menjadi masukan CC-VSI, dimana fungsi CC-VSI telah di jelaskan pada bab 2. Dari gambar tersebut bentuk gelombang semakin mengecil dikarenakan pengaturan beban yang telah ditentukan oleh penulis. Gambar 4.31 di bandingkan dengan gambar 4.25 ada perbedaan di gambar ini arus refrensi tidak langsung menurun drastic Karena adanya pengontrolan dari THD *command* yang penulis inginkan.



Gambar 4.32 Bentuk Gelombang Keluaran *Gain* Dengan Sumber Beban Berubah dan THD *Command* Berubah Menggunakan *HAFU*

Dari gambar 4.32 penulis mengetahui gelombang keluaran *gain* (G^*). Mengutamakan THD *command* dari pada beban Karena masukan G^* adalah THD *command* menunjukan bahwa desain konduktansi variable berfungsi mengikuti pengaturan yang telah ditentukan oleh penulis. Setelah pemasangan *Hybrid Active Filter Unit (HAFU)*, dengan beban berubah-ubah dan THD *command* Konstan maka penulis mendapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.13 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Arus beban dan THD Command Berubah Kondisi *HAFU* Aktif Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	6.25	$\frac{0.508}{8.117} \times 100 \%$
7	420	4.21	$\frac{0.342}{8.117} \times 100 \%$
11	660	2.26	$\frac{0.185}{8.117} \times 100 \%$
13	780	1.68	$\frac{0.137}{8.117} \times 100 \%$
17	1020	0.96	$\frac{0.078}{8.117} \times 100 \%$

$$THDI = \frac{\sqrt{I_0^2 - I_1^2}}{I_1} = THDI = \frac{\sqrt{8.151^2 - 8.117^2}}{8.117} = 0.091 = 9.16\%$$

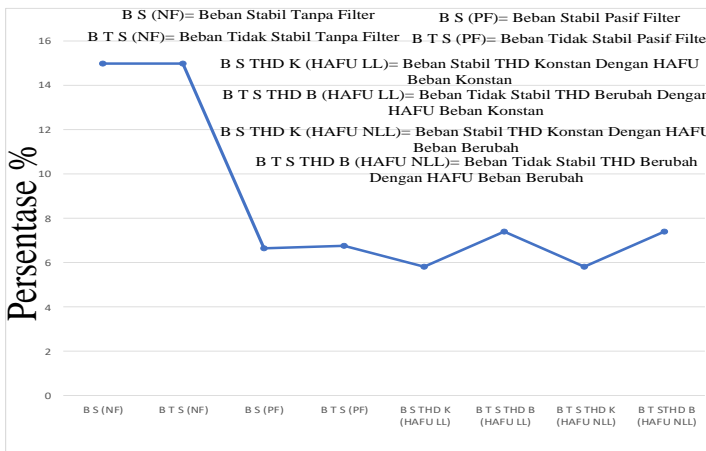
Tabel 4.14 *Individual Harmonic Distortion (IHD)* Tegangan beban dan THD Command Berubah Kondisi *HAFU* Aktif Kondisi Pertama

Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
5	300	3.45	$\frac{2.479}{71.803} \times 100 \%$

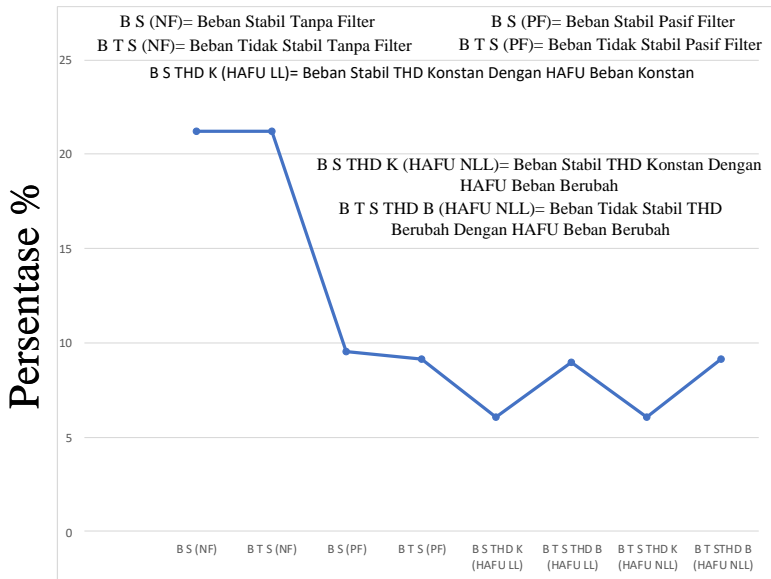
Orde	Frekuensi (Hz)	<i>Magnitude</i> (%)	Perhitungan
7	420	3.25	$\frac{2.340}{71.803} \times 100 \%$
11	660	2.78	$\frac{1.997}{71.803} \times 100 \%$
13	780	2.44	$\frac{1.755}{71.803} \times 100 \%$
17	1020	1.83	$\frac{1.319}{71.803} \times 100 \%$

$$\text{THD V} = \frac{\sqrt{V_0^2 - V_1^2}}{V_1} = \text{THD V} = \frac{\sqrt{72.000^2 - 71.803^2}}{71.803} = 0.0741 = 7.41\%$$

Saat *hybrid* active filter unit di aktikan maka THD berada angka 9.16% THD I dan 7.41 THD V, menunjukan perubahan beban keluaran gelombang dari *gainpun* juga mengikuti meskipun saat beban berubah dan THD *command* berubah.



Gambar 4.33 Grafik THD Arus



Gambar 4.34 Grafik THD Tegangan

Dari gambar 4.32 THD I dan gambar 4.33 menunjukkan bahwa beban dengan tanpa filter persentase di atas 20%, dengan pasif filter di atas 6% dan *HAFU* di aktifkan I angka 5-7%.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada rangkaian Peredaman Resonansi harmonisa pada sistem kelistrikan industri menggunakan filter *hybrid* dengan konduktansi variable dapat disimpulkan menjadi beberapa hal sebagai berikut:

1. Sinyal referensi harmonik yang diperoleh dari pembangkit sinyal referensi di beban yang di olah dalam aktif power filter menjadi masukan CC-VSI.
2. *Active Power Filter* dapat menurunkan THD arus Tanpa menggunakan filter 21.7%, saat pasif filter 8.89% saat *HAFU* aktif di 4.76%.
3. Saat beban berubah ataupun THD *command* berubah, maka konduktansi *gain*nya pun ikut terus bergerak mengikuti perubahan menunjukan sistem konduktansi.
4. Fungsi dari *HAFU* sendiri adalah meredam harmonisa, dalam aplikasi nyatanya *HAFU* dapat memperkecil ukuran pasif filter sehingga dapat memperringgan biaya pembuatan filter yang mahal apabila hanya menggunakan pasif filter.
5. CC-VSI Dapat mengatur tegangan sehingga kelemahan dari seri pasif filter dapat dihilangkan.

5.2. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah.

1. Pemodelan Peredaman Resonansi harmonisa pada sistem kelistrikan industry menggunakan filter *hybrid* dengan konduktansi variable pada Tugas akhir ini mampu memperbaiki arus di sumber menjadi halus mendekati sinus, meskipun tidak sehalus sinusoidal murni. Diperlukan rangkian tambah pengontrol DC pada sisi CC-VSI yang memiliki keandalan tinggi dalam memperbaiki sehingga arus menjadi sinus murni.
2. *Gain* memiliki batasan maksimal di angka 0.9 dan angka dasarnya 0.592 apabila melebihi range tersebut mengalami saturasi *gain* menunjukan adanya keterbatasan sistem desain pada *hybrid* konduktansi variabale yang saya desain, dengan tujuan untuk masukan dan menyeimbangkan sisi arus dan sisi tegangan output menjadi 220V (L-L)

3. Untuk memperbaiki Tegangan menjadi Sinus murni Peredaman awal dilakukan pada induktansi bocor pada trafo dan induktansi saluran karena itu akan sangat membantu memperbaiki tegangan yang cacat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ChapterII (2010) tersedia :repository.usu.ac.id / bitstream / 123456789 / 38249 / 4 / Chapter%20II.pdf
- [2] M. Ashari, Prof., Dr., Ir, M.Eng., Sistem Konverter DC Desain Rangkaian Elektronika Daya. Surabaya: ITS Press, 2012.
- [3] .Institute of Electrical and Electronics Engineers, Industrial Electronics Society, and Zhe jiang da xue, Eds., 2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2012): Hangzhou, China, 28 - 31 May 2012; [proceedings]. Piscataway, NJ: IEEE, 2012.
- [4] Sastra Kusuma Wijaya., Pasif filter., Tersedia: staff.ui.ac.id/system/files/users/sastra.kusumamaterial03filterpasif.pdf
- [5] Aisyah, S., "Desain Simulasi Average Model Voltage Source Inverter pada generator induksi", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2013.
- [6] Azmi ,S.A., Ahmed ,K.H, Finney ,S.J. and Williams ,B.W. "Comparative Analysis Between Voltage And Current Source Inverters In Grid-Connected Application". IEEE.
- [7] W. Hart, Daniel."Power Electronics", Valparaiso University, 2011.
- [8] Mohan, Ned., Uneland.Tore. M, Robins.P, William., "Power Electronics - Converter,Appllications and Design",John Willey and Sons Inc.
- [9] Wang ,Runxin. Liu, Jinjun., "Redefining a New-Formed Average Model for Three-Phase Boost Rectifiers/Voltage Source Inverters", IEEE, 2009
- [10] Boroyevi ,Dushan., "Modeling and Control of Three-Phase PWM Converter",The 2ndIEEE
- [11] International Power & Energy Conference Johor Bahru, MALAYSIA,30 November 2008..
- [12] Tzung-Lin Lee.,Yen-Ching Wang., Jian-Cheng Li., Josep M. Guerrero.,"Hybrid Active Filter With Variable Conductance for Harmonic Resonance Suppression in Industrial power System", IEEE Transaction on industrial electronic, vol 62, no 2, february. 2015.
- [13] R. Inzunza and H. Akagi, "A 6.6-kV transformerless shunt hybrid active filter for installation on a power distribution system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 4, pp. 893–900, Jul. 2005

- [14] P. Jintakosonwit, H. Akagi, H. Fujita, and S. Ogasawara, "Implementation and performance of automatic gain adjustment in a shunt active filter for harmonic damping throughout a power distribution system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 17, no. 3, pp. 438–447, Mar. 2002
- [15] P. Jintakosonwit, H. Fujita, H. Akagi, and S. Ogasawara, "Implementation and performance of cooperative control of shunt active filters for harmonic damping throughout a power distribution system," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 39, no. 2, pp. 556–564, Mar./Apr. 2003.
- [16] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE Std. 519-1992, 1993.
- [17] V. Kaura and V. Blasko, "Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 33, no. 1, pp. 58–63, Jan./Feb. 1997.
- [18] Hasan, M. Fahmi., "Kompensasi Daya Reaktif dan Eliminasi Harmonik Pada Crane Menggunakan Shunt Active Power Filter Dengan Metode Hysteresis Band Current Control ", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.

RIWAYAT PENULIS



Adi Sjaferial lahir di Surabaya pada tanggal 01 Oktober 1991. Anak Pertama dari dua bersaudara. Menempuh pendidikan formal di TK Mujahidin 1 Surabaya lulus 1997, SD Mujahidin 1 Surabaya lulus pada tahun 2003, SMPN 7 Surabaya lulus pada tahun 2006, SMA Hang Tuah -1 Surabaya lulus pada tahun 2009. Kemudian melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan D3 Teknik Elektro bidang studi komputer kontrol lulus pada tahun 2013 dan melanjutkan studi S1 Lintas Jalur pada Bidang Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email *adisjaferial.ijp@gmail.com*

Halaman ini sengaja dikosongkan